

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки - 27.04.01 Стандартизация и метрология  
Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка программного цифрового осциллографа в среде LabVIEW</b>

УДК 004.415.2.621.317.755

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Сальникова Татьяна Валерьевна		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Заревич Антон Иванович	Кандидат технических наук, доцент		
Руководитель ООП	Казаков Вениамин Юрьевич	Кандидат физико-математических наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШНКБ	Авдеева Ирина Ивановна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

### «Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО 3+, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения.	Требования ФГОС 3+ (ОК-1, 8, 9, 10; ПК- 17, 23, 24, 28). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, проводить анализ состояния и динамики метрологического и нормативного обеспечения производства, производить оценку качества измерений, контроля и испытаний, проводить работы по автоматизации измерений и контроля в производстве и научных исследованиях.	Требования ФГОС 3+ (ОК - 13, ПК - 3, 7, 8, 9, 13, 14). Критерий 5 АИОР (п.1.3, 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P3	выполнять работы в области стандартизации и сертификации: выполнять разработку и экспертизу новых технических регламентов и другой нормативной документации, разрабатывать процедуры оценки соответствия, поддерживать единое информационное пространство планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла изделий.	Требования ФГОС 3+ (ПК-1, 2, 5, 6, 19, 21, 29). Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: исследовать причины появления некачественной продукции, разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин брака, осуществлять приемочный и выходной контроль продукции, а также контроль производства на основе современных технических средств.	Требования ФГОС 3+ (ПК-4, 12, 14, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P5	Использовать базовые знаний в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения инновационной инженерной деятельности; организовывать работы по защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на них, проводить технико-экономический анализ по проектам связанным с метрологическим обеспечением производства.	Требования ФГОС3+ (ОК-5, ПК-11, 14, 16, 17, 18, 20, 27, 30). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
<b>Универсальные компетенции</b>		
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, заниматься научно- педагогической деятельностью в области метрологии, технического регулирования и управления качеством.	Требования ФГОС 3+ (ОК-1, 3, 4, 5, ПК-32, 33, 34). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок работ, демонстрировать ответственность за результаты работы.	Требования ФГОС 3+ (ОК-11, 12, ПК-20, 22, 32). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности.	Требования ФГОС3+ (ОК-14, ПК-26) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду.	Требования ФГОС ВПО 3+ (ОК-7, ПК-10, 14, 20,). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности, проявлять гражданскую позицию, направленную на его совершенствование.	Требования ФГОС ВПО 3+(ОК-6). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки - 27.04.01 Стандартизация и метрология  
Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Сальникова Татьяна Валерьевна

Тема работы:

Разработка программного цифрового осциллографа в среде LabView	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2585/с от 13.04.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является процесс измерения параметров электрических сигналов, который находит применение в различных сферах науки и техники. В работе рассмотрена архитектура современных цифровых осциллографов. Изучены возможности программного пакета LabView с целью разработки и создания виртуального прибора - программного осциллографа, обладающего набором функций, реализуемых в существующих приборах. Результаты работы могут использоваться в учебном процессе ТПУ.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассмотреть и систематизировать основные функции современных цифровых осциллографов.</li> <li>2. Сформулировать требования, предъявляемые к характеристикам и функциональности разрабатываемого цифрового осциллографа.</li> <li>3. Разработать алгоритм функционирования цифрового осциллографа.</li> <li>4. Создать виртуальный прибор в среде LabView.</li> </ol>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
1, 2, 3	Заревич А.И.
4	Шаповалова Н.В.
5	Авдеева И.И.
Приложение А	Кузнецова И. Н.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
1 Принципы построения цифровых осциллографов	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.09.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Заревич Антон Иванович	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Сальникова Татьяна Валерьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ГМ61	Сальниковой Татьяне Валерьевне

<b>Школа</b>	<b>ИИШТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	27.04.01 Стандартизация и метрология

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, ставки налоговых отчислений во внебюджетные фонды, районный коэффициент по г. Томску
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ)	Проведение предпроектного анализа НТИ: оценка потенциальных потребителей, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей проекта, ожидаемых результатов, а также обозначение критериев приемки и требований к результату проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение структуры работ в рамках НТИ, разработка графика проведения НТИ, планирование бюджета НТИ.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка эффективности проекта

**Перечень графического материала:**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ГМ61	Сальникова Татьяна Валерьевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ГМ61	Сальникова Татьяна Валерьевна

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Автоматизации и робототехники</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является процесс измерения параметров электрических сигналов, который находит применение в различных сферах науки и техники. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером, установленном на нем необходимым программным обеспечением, терминальной коробки, кабеля и устройства сбора данных. Работа производится сидя.
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Проводится анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как: - отклонение показателей микроклимата; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень вибрации. - нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса. Анализ выявленных опасных факторов производственной среды, таких как: Электробезопасность: - Короткое замыкание - Стат.эл-во - Поражение эл.током
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия на атмосферу, гидросферу, литосферу: образование отходов при поломке или утилизации компьютера.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Защита в чрезвычайных ситуациях: - выбор наиболее типичной ЧС - пожар; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - компоновка рабочей зоны Нормативно-техническая документация (НТД): СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.0.003-2015; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; ГОСТ Р 12.1.019-2009; СНиП 21-01-97; СП 52.13330.2016; ГОСТ 12.1.030-81; ПЭУ 7; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03; ФЗРФ от 22 июля 2008г. №123; ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 12.1.003-2014.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.18
---	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Сальникова Татьяна Валерьевна		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа 119 листов, 46 рисунков, 28 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: осциллограф, цифровая обработка сигналов, компьютеризация измерений, устройство сбора данных, среда разработки LabVIEW.

**Актуальность работы.** Функциональные возможности существующих программных осциллографов ограничены и уступают полноценным аппаратным осциллографам. Кроме того, помимо сокращённого набора функций, они обладают рядом недостатков, в том числе отсутствие информации об используемых в приборах алгоритмов в силу проприетарности этого программного обеспечения. В работе изучены функциональные возможности современных цифровых осциллографов, обозначены принципы, лежащие в основе функциональных возможностей. Реализован подобный прибор в программной среде LabVIEW

**Предметом исследования** будет являться процесс измерения параметров электрических сигналов, а **объектом исследования** – цифровая обработка измерительных сигналов.

Цель работы – изучение принципов построения, лежащих в основе функционирования цифровых осциллографов, и их реализация в среде LabVIEW.

### Задачи

1. Исследование принципов построения современных цифровых аппаратных и программных осциллографов и определение их функциональных возможностей.
2. Изучение возможностей программного пакета LabVIEW, необходимых для создания программных осциллографов.
3. Разработка и создание виртуального прибора – осциллографа в среде LabVIEW.

Работа представлена ведением, пятью главами и заключением, приведен список публикаций, список использованных источников.

В 1 главе «Принципы построения цифровых осциллографов» представлены алгоритмы работы существующих современных осциллографов. Представлены различные виды современных осциллографов, в том числе и программные.

Во 2 главе «Устройства-прототипы создаваемого прибора» представлены сравнительная характеристика цифровых аппаратного и программного осциллографов. Сделаны выводы о необходимости создания цифрового программного осциллографа.

В 3 главе «Разработка виртуального прибора» рассматриваются этапы разработки цифрового программного осциллографа.

В 4 главе «Финансовый менеджмент» описаны затраты требуемые для разработки и внедрения цифрового программного осциллографа. Выявлены сильные и слабые стороны разработки.

В 5 главе «Социальная ответственность» рассматриваются производственная, экологическая безопасность и возможные чрезвычайные ситуации, а также пути ухода от возможных отклонений от норм безопасности.

В заключении изложены результаты проводимой работы. Сделан вывод о соответствии выполненной работы исходному заданию.

## Оглавление

	С.
Введение	14
1 Принципы построения цифровых осциллографов	17
1.1 Место осциллографов в измерительной технике	17
1.2 Аналоговые осциллографы	19
1.3 Цифровые осциллографы	22
1.4 Параметры и принципа действия цифровых осциллографов	30
2 Устройства-прототипы создаваемого прибора	37
2.1 Осциллограф фирмы АКТАКОМ	37
2.1.1 Основные характеристики осциллографа	37
2.1.2 Органы управления осциллографом	37
2.2 Особенности измерений цифровыми осциллографами	40
2.2.1 Измерение постоянных напряжений	40
2.2.2 Измерение частотных и временных параметров цифровых осциллографов	40
2.2.3 Выбор вида интерполяции	42
2.2.4 Работа с памятью цифрового осциллографа	43
2.3 Виртуальный осциллограф NI ELVIS	44
3 Разработка виртуального прибора	48
3.1 Цифровая обработка сигналов и технология создания виртуальных приборов	48
3.2 Среда разработки LabVIEW	49
3.2.1 Возможности языка LabVIEW	50
3.2.2 Основы по созданию виртуальных приборов	52
3.2.3 Алгоритм прибора	55
3.3 Прибор для генерации и обработки цифрового сигнала	56
3.4 Прибор для обработки аналогового сигнала	63
3.4.1 Устройство DAQmx	64
3.4.1.1 Датчики и измерительные преобразователи	64

3.4.2 Основы работы с устройством DAQmx	65
3.4.3 Функции сбора данных DAQmx	65
3.4.4 Осциллограф на базе DAQmx	66
3.4.5 Циклический буфер	72
3.4.6 Ошибка наложения записей	73
3.4.7 Ошибка переполнения	74
3.5 Итоговый виртуальный прибор	76
3.5.1 Объединение составляющих осциллографа	76
3.5.1 Характеристики разработанного осциллографа	78
4 Финансовый менеджмент	80
4.1 Предпроектный анализ	80
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	80
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	80
4.1.4 SWOT-анализ	82
4.2 Инициация проекта	86
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	88
4.4 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы. Определение трудоемкости выполнения работ	89
4.5 Бюджет научно-технического исследования	92
4.5.1 Расчет материальных затрат	92
4.5.2 Расчет заработной платы основных исполнителей проекта	93
4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды	94
4.6 Накладные расходы	94
4.7 Определение эффективности исследования	95
4.8 Выводы в заключение основной части	96
5 Социальная ответственность	97
5.1 Производственная безопасность	97
5.1.1 Анализ вредных факторов	98
5.2.1 Анализ опасных факторов	105
5.2 Экологическая безопасность	107

5.2.1 Загрязнение гидросферы	108
5.2.2 Отходы	109
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	109
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	112
5.5 Выводы по разделу	114
Заключение	115
Список публикаций	116
Список литературы	117
Приложение А	120

## Введение

Осциллограф – один из важнейших приборов в радиоэлектронике, необходимых для наблюдения формы сигнала, измерения его амплитудных и временных параметров. С его помощью решаются прикладные, лабораторные и научно-исследовательские задачи, он необходим чтобы контролировать, изучать и измерять данные электрических сигналов - как непосредственно, так и полученных при воздействии других устройств на датчики, преобразующих такие воздействия в электрический сигнал и радиоволны. [1]

Изначально электрические колебания фиксировались вручную на бумаге. Еще в 1880 году первые попытки автоматической записи были предприняты Жюлем Франсуа Жубером, который внес предложение пошагового и полуавтоматического метода регистрации сигнала. С помощью метода Жубера впоследствии появился полностью автоматический ондограф Госпиталье. В 1885 году русский физик Роберт Колли создал осциллометр, а в 1893 году француз-физик Блондель изобрел осцилоскоп с бифилярным подвесом (магнитоэлектрический). [2]

Первые осциллографы имели регистрирующие подвижные части с большой инерцией и не позволяли распознать быстропротекающие процессы. Позже в 1897 году недостаток был устранен Уильямом Дадделлом, им был создан светолучевой осциллограф, имевший в качестве измерительного элемента маленькое лёгкое зеркальце. Регистрация проходила на светочувствительную пластинку. Достижением этого метода в середине XX века стали ленточные осциллографы, имевшие много каналов. [2]

Почти в одно время с Дадделлом Карл Фердинанд Браун разработал кинескоп для отображения сигнала. В 1899 году Йонатан Зеннек доработал кинескоп, он внедрил горизонтальную развертку, что приблизило кинескоп к современным осциллографам. Кинескоп Брауна в 30-е годы прошлого века заменило такое же устройство Зворыкина, и оно стало более надежным. [2]

На смену аналоговым устройствам в конце XX века пришли цифровые. Благодаря развитию электроники и появлению быстрых аналого-цифровых преобразователей, к 1980-м годам они заняли доминирующую позицию среди осциллографов. [2]

В системах диагностики и исследования электрического сигнала осциллографы остаются популярными и незаменимыми. Цифровые осциллографы в настоящее время производятся в виде самостоятельных приборов и в виде приставки к персональному компьютеру. Сейчас специалисту достаточно подключить к компьютеру дополнительное устройство - модуль цифрового осциллографа, для того чтобы измерить и проанализировать физическую величину. Приборы на основе ПК относятся к ведущим направлениям в измерительной технике – виртуальным приборам. Программная часть виртуального прибора при этом эмулирует переднюю управляющую панель стационарного измерительного устройства. С помощью мыши и клавиатуры осуществляется управление прибором, специальные программы обрабатывают поступившую информацию, а затем сохраняют её на накопителе [1]

Существующие программные приборы несовершенны, поскольку не обладают набором функций, присущих имеющимся на рынке цифровым приборам. Путь решения данной проблемы состоит в изучении алгоритмических основ функций уже существующих дорогих приборов и их реализация в программной среде LabVIEW.

Осциллографы находят широкое применение в учебном процессе вузов, в частности в ТПУ в учебных дисциплинах, таких как: электроника, электротехника, метрология. Часть лабораторных и практических занятий проходит в программно-аппаратной среде LabVIEW, на базе лабораторного комплекса ELVIS II, который предназначен для проведения лабораторных работ по общетехническим и специальным дисциплинам. В работе приводится программный, уже созданный разработчиками ELVIS прибор – осциллограф. Функциональные возможности такого осциллографа ограничены и уступают

полноценным аппаратным осциллографам. Кроме того, помимо сокращённого набора функций, он обладает рядом недостатков, и в том числе отсутствие информации об используемых в приборе алгоритмах в силу проприетарности этого программного обеспечения. В работе предлагается изучить и исследовать функциональные возможности современных цифровых осциллографов, обозначить принципы, лежащие в основе функциональных возможностей. В программной среде LabVIEW реализовать подобный прибор.

Таким образом, **предметом исследования** будет являться процесс измерения параметров электрических сигналов, а **объектом исследования** – цифровая обработка измерительных сигналов.

Пошаговая детальная разработка и рассмотрение каждого составляющего блока цифрового программного осциллографа в среде разработки LabVIEW в результате приводит к возможности узнать основные принципы построения программных приборов, в чем состоит **практическая новизна** данного исследования.

Исследование напрямую связано с образовательной программой направления «Компьютеризация измерений и контроля».

**Цель работы** – изучение принципов построения, лежащих в основе функционирования цифровых осциллографов, и их реализация в среде LabVIEW.

### **Задачи**

1. Исследование принципов построения современных цифровых аппаратных и программных осциллографов и определение их функциональных возможностей.
2. Изучение возможностей программного пакета LabVIEW, необходимых для создания программных осциллографов.
3. Разработка и создание виртуального прибора – осциллографа в среде LabVIEW.



# **1 Принципы построения цифровых осциллографов**

## **1.1 Место осциллографов в измерительной технике**

Современный электронный осциллограф уникальнейший по широте применения измерительный прибор. Сейчас осциллограф основной прибор ученого, исследующего новые физические процессы, инженера и техника, занятого ремонтом и наладкой сложнейшей электронной аппаратуры и радиолюбителя, на практике осваивающего основы электроники и радиотехники. [3]

Осциллограф – один из самых важных и незаменимых инструментов для анализа электрических сигналов, подлежит подробному рассмотрению. Приборы предназначены для отображения амплитудных изменений подаваемого на них сигнала во временном промежутке и позволяют производить наблюдение, измерения, а также запись этого сигнала. Осциллограф служит хорошим инструментом для тестирования, отладки и устранения неполадок, с его помощью можно определять работоспособность как отдельно взятых электронных компонентов, так и модулей в сборе.

История осциллографов берет свое начало с 1893 года, когда французский физик Андре Блондель представил миру собственноручно построенный магнитоэлектрический осциллограф с бифилярным подвесом. Данный прибор позволял регистрировать значения электрических величин, таких как интенсивность переменных токов, на движущейся ленте записи при помощи чернильного маятника, подсоединенного к катушке. Так как при работе использовались сразу нескольких механических приспособлений, первые осциллографы были не слишком точными и имели очень малую полосу пропускания, в диапазоне 10-19 кГц. [4]

По настоящему осциллографы эволюционировали с появлением электронно-лучевой трубки, которую изобрел в 1897 году немецкий физик Карл Браун. А.С.Соссор - британская компания, которая первой в мире адаптировала данную технологию, представив в 1932 году первый осциллограф на ЭЛТ. [4]

По окончании Второй мировой войны измерительные приборы, а с ними, соответственно, и осциллографы, получили развитие во всех частях мира, но в первую очередь это было заметно в Европе и Америке. В 1946 году Говард Воллюм и Мелвин Джек Мердок основали компанию Tektronix, которая вскоре стала мировым лидером. В том же году Воллюм и Мердок изобрели свой первый осциллограф со ждущей разверткой - они использовали эту технологию в модели 511, которая имела полосу пропускания 10 МГц. Ждущей разверткой в осциллографе принято считать развертку, которая срабатывает только во время протекания наблюдаемого электрического импульса. [4]

В 1950-х годах практически во всех технически развитых странах стали производить эти приборы, благодаря чему осциллографы превратились в универсальный инструмент для измерений. Полоса пропускания и точность осциллографов стремительно увеличивались.

Итогом развития аналоговых осциллографов к началу XXI века стали: увеличение числа каналов и полосы пропускания, повышение точности приборов.

Важной вехой в развитии осциллографов явилось появление в 1985 году цифрового осциллографа. Этот год можно с уверенностью назвать одной из ключевых точек в истории развития осциллографии. Именно в этом году для исследовательского центра CERN был разработан первый в мире цифровой запоминающий осциллограф. Созданием данного прибора руководил Уолтер ЛеКрой (Walter LeCroy), основатель компании LeCroy. Начиная с 1980-х годов рынок цифровых осциллографов прогрессировал невероятными темпами, благодаря чему эти приборы по сей день являются незаменимыми. [5]

Как и в случае с любым другим электронным оборудованием, осциллографы также можно разделить по способу обработки входного сигнала на аналоговые и цифровые. Оба типа обладают своими плюсами, минусами и уникальными характеристиками, поэтому разберем их более детально. Современные осциллографы значительно отличаются по функциональности и принципу действия. Их можно классифицировать на аналоговые и цифровые

(запоминающие, люминофорные, стробоскопические), а также виртуальные и портативные.

## **1.2 Аналоговые осциллографы**

Аналоговый осциллограф - это универсальный прибор для исследования непериодических и периодических электрических сигналов. Прибор незаменим в работе инженера и научно-исследовательской практике чтобы выполнять возможные измерения электрических сигналов. Осциллографы бывают однолучевые и двухлучевые. Двухлучевые осциллографы в сравнении с однолучевыми по функциональным возможностям имеют преимущество; и позволяют упростить некоторые виды измерений. Однолучевые осциллографы дают возможность видеть изображение формы одного электрического сигнала на экране с помощью одного развертывающего электронного луча, а двухлучевые - изображения двух исследуемых электрических сигналов в виде двух электронных лучей, которые не зависят друг от друга. [6]

Практически любой аналоговый осциллограф должен быть оснащен одним или несколькими вертикальными каналами, горизонтальным каналом, временной базой, схемой запуска (спусковой схемой), и ЭЛТ модулем. Вертикальный канал должен содержать компенсированный аттенюатор, предусилитель, линию задержки и вертикальный усилитель, который предназначен для усиления сигнала до нужного для ЭЛТ модуля уровня. Горизонтальный канал может использоваться в двух разных режимах работы: внутреннем и внешнем. Оба режима горизонтального канала, по аналогии с вертикальным, работают через горизонтальный усилитель. [6]

Временная база в основном состоит из триггеров, интегрирующего усилителя, а также схем для суммирования и инвертирования.

Структурная схема двухлучевого аналогового осциллографа приводится на рисунке 1.

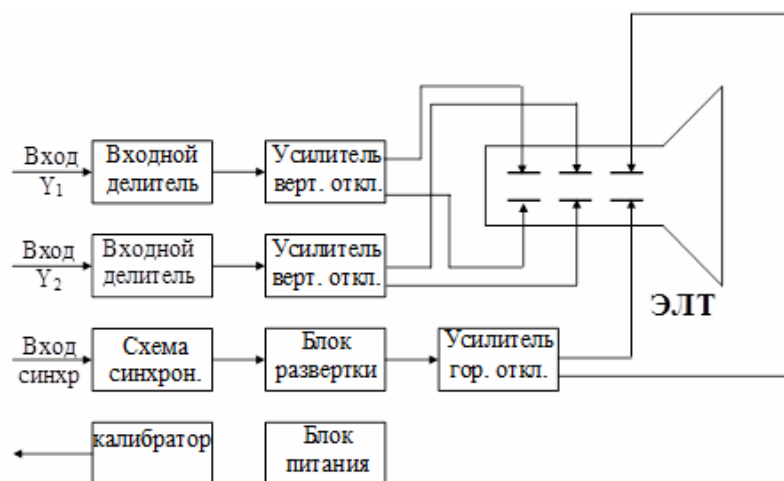


Рисунок 1 - Структурная схема двухлучевого аналогового осциллографа

В ее состав входят следующие узлы:

- электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) с двумя парами пластин вертикального отклонения лучей и одной парой пластин горизонтального отклонения;
- усилители вертикального и горизонтального отклонения луча;
- входной аттенюатор (частотно-компенсированный делитель напряжения) для каналов  $Y_1$  и  $Y_2$ ;
- блок питания и высоковольтный преобразователь;
- блок синхронизации;
- калибратор.

Сигналы подаются на входы  $Y_1$ ,  $Y_2$ . С помощью аттенюаторов происходит регулировка размеров изображений сигналов. Усилители вертикального отклонения масштабируют сигналы до требуемых значений. Пуск и синхронизация делается как и с помощью рассматриваемого сигнала (при внутренней синхронизации), так и с участием внешнего сигнала, подаваемого на гнездо “ВХОД СИНХР” (при внешней синхронизации). Импульсы синхронизации дают возможность запустить блок развертки, выдающий пилообразное напряжение. Напряжение, увеличенное усилителем горизонтального отклонения, поступает на отклоняющие пластины ЭЛТ.

Сигнал подается на гнездо “ВХОД Y”. Входной аттенюатор устанавливает нужный размер изображения. Усилитель вертикального отклонения усиливает сигнал до нужного значения. Во время прямого развертки в осциллографе есть схема подсветки служащая для подсвета луча ЭЛТ. В большинстве случаев полоса пропускания аналоговых осциллографов исчисляется несколькими сотнями мегагерц, а основным «ограничителем» полосы является именно ЭЛТ модуль. ЭЛТ модулем принято называть специальную вакуумную трубку, содержащую электронную пушку, набор горизонтальных и вертикальных отклоняющих пластин, несколько электронных линз, а также дисплей, окрашенный внутри слоями флуоресцентного и фосфоресцентного покрытия. В осциллографе предусмотрена возможность одновременной подачи сигналов на вертикальные и горизонтальные отклоняющие пластины ЭЛТ через соответствующие усилители. [7]

Калибратор вырабатывает прямоугольные импульсы стабильной амплитудой (6 В; 0,6 В; 0,06 В) и частотой 1 кГц, которые используются для калибровки коэффициента усиления усилителей вертикального и горизонтального отклонений и для калибровки длительности развертки.

Такие приборы могут использоваться для отображения в реальном времени моментальных изменений сигналов, так как весь процесс вывода сигнала на экран не проходит цифровую обработку. К аналоговым осциллографам такие понятия, как буферизация, обработка входного сигнала и другие термины, относящиеся к современным цифровым моделям, конечно же, неприменимы. Подающиеся на вход сигналы непрерывно отображаются с небольшой задержкой, обусловленной непосредственно компонентами электронных схем прибора. В таблице 1 представлены достоинства и недостатки аналоговых осциллографов.[7]

Таблица 1

Достоинства аналоговых осциллографов:	Недостатки аналоговых осциллографов:
- знакомый интерфейс;	- низкая точность;

Достоинства аналоговых осциллографов:	Недостатки аналоговых осциллографов:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- мгновенное обновление экрана при отображении быстроизменяющихся сигналов во времени;</li> <li>- низкая стоимость;</li> <li>- простые средства управления для регулярно используемых настроек (коэффициент развертки, коэффициент чувствительности, уровень запуска, смещение сигнала и т.д.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- мерцание и/или тусклость экрана в зависимости от частоты сигнала и коэффициента развертки;</li> <li>- нет возможности отображения сигнала до запускающего момента;</li> <li>- ограниченная полоса пропускания;</li> <li>- высокая эксплуатационная стоимость;</li> <li>- ограниченные средства измерения параметров сигналов.</li> </ul>

Единичные экземпляры аналоговых осциллографов все еще можно встретить в использовании. Но такие модели постепенно вытесняются цифровыми, потому что ситуация на рынке измерительных приборов аналогична рынку персональных компьютеров, где стоимость компонентов постоянно снижается.

### 1.3 Цифровые осциллографы

Как правило, цифровые осциллографы разделяют на три основных группы:

- запоминающий осциллограф, использующий технологию выборки в реальном времени;
- стробоскопический осциллограф, использующий выборку в эквивалентном масштабе времени;
- фосфорный осциллограф, использующий продвинутое технологии выборки и обработки сигналов.

Цифровые запоминающие осциллографы появились благодаря технологической эволюции гибридных аналогово-цифровых преобразователей, ответственных за быстрое и точное оцифровывание высокочастотных сигналов,

а также благодаря разработкам в сфере запоминающих устройств, которые в подобных приборах должны сохранять данные настолько быстро, насколько осуществляется выборка, и компактных дисплейных модулей с низким энергопотреблением. По сути, запоминающие осциллографы используют аналогово-цифровые преобразователи для представления данных о сигналах в цифровом формате. [8]

Цифровым стробоскопическим осциллографом принято называть прибор, который для получения изображения формы сигнала использует упорядоченную/случайную выборку мгновенных значений исследуемого сигнала и осуществляет его временное преобразование. Принцип работы подобного осциллографа базируется на стробоскопическом эффекте, поэтому Стробоскопический осциллограф использует измерение мгновенных значений повторяющихся сигналов при помощи коротких стробоскопических импульсов. Благодаря этому принципу такие осциллографы обеспечивают широкую полосу пропускания и обладают высокой чувствительностью. [8]

Цифровые фосфорные осциллографы – это наиболее развитый и высокотехнологичный тип осциллографов, которые существуют на сегодняшний день. Осциллографы отображают сигнал в трех плоскостях, что в какой-то мере можно сравнить с производительностью аналогового осциллографа: временном, амплитудном и амплитудном в течении времени (интенсивность). Такие осциллографы обладают высокой плотностью выборки, а также присущей подобным приборам способностью захватывать данные по интенсивности исследуемого сигнала. Дисплей такого осциллографа значительно облегчает распознавание основной формы сигнала от его переходных характеристик - картинка основного сигнала выглядит значительно ярче. В таблице 2 представлены достоинства и недостатки цифровых осциллографов.

Таблица 2

Достоинства цифровых осциллографов:	Недостатки цифровых осциллографов:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- широкая полоса пропускания;</li> <li>- возможность "замораживания" изображения на произвольное время;</li> <li>- высокая точность измерений;</li> <li>- возможность обнаружения импульсных помех;</li> <li>- яркий экран, хорошо сфокусированный не зависимо от скорости развертки;</li> <li>- автоматические средства измерения параметров сигналов;</li> <li>- математическая и статистическая обработка сигнала;</li> <li>- возможность самокалибровки и самодиагностики.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- более высокая стоимость;</li> <li>- более сложные в управлении</li> </ul>

### 1.3.1 Цифровые запоминающие осциллографы

Обычный цифровой осциллограф позиционируется как цифровой запоминающий осциллограф. Дисплей такого прибора относится к экрану растрового типа, в отличие от люминофорного экрана аналоговых запоминающих осциллографов. На рисунке 2, в качестве примера, показан внешний вид осциллографа Tektronix TBS1064.



Рисунок 2 - Цифровой запоминающий осциллограф Tektronix TBS1064

Цифровые запоминающие осциллографы (ЦЗО) позволяют захватывать (регистрировать) и просматривать события не только периодические, но и однократные, например переходные процессы. Поскольку информация о сигнале существует в цифровом формате в виде последовательности сохраненных бинарных значений, эти значения можно легко анализировать, архивировать, распечатывать, либо обрабатывать каким-либо иным способом, как в самом осциллографе, так и во внешнем компьютере.



В этом случае для сигнала нет необходимости быть непрерывным; сигнал может быть отображен на экране прибора даже тогда, когда сам он уже давно исчез. В отличие от аналоговых моделей, цифровые запоминающие осциллографы обеспечивают постоянное сохранение в памяти захваченной информации, разностороннюю обработку параметров и их анализ. Однако такие приборы не отображают градации яркости развертки сигнала в реальном времени, поэтому ЦЗО неспособны наглядно представлять изменяющиеся «живые» сигналы. ЦЗО имеют архитектуру последовательной обработки информации от регистрации до вывода на экран исследуемых сигналов. Это означает, что входной сигнал, прошедший аттенюатор и усилитель системы вертикального управления, поступает на аналого-цифровой преобразователь, который осуществляет последовательную с определенным шагом (временным интервалом) выборку значений исследуемого сигнала, преобразуя напряжение сигнала в этих точках в цифровые значения. Эти значения иногда называют элементами выборки (семплами), а весь процесс - оцифровкой сигнала. Последовательность элементов выборки, полученная с аналого-цифрового преобразователя (АЦП), сохраняется в оперативной памяти прибора в качестве массива цифровых данных, описывающих форму сигнала. Момент пуска и останова процесса записи определяет система запуска осциллографа. Сигнальный тракт цифровых осциллографов включает в себя микропроцессор, который обрабатывает сигнал и управляет выводом данных на дисплей. [9]

### **1.3.2 Осциллографы с цифровым люминофором**

В осциллографах с цифровым люминофором используется новый принцип обработки сигнала, предоставляющий уникальные возможности регистрации данных и точного воспроизведения осциллограммы на экране. На рисунке 3 показан внешний вид осциллографа с цифровым люминофором Tektronix 4102B-L.



Рисунок 3 - Осциллограф с цифровым люминофором Tektronix 4102B-L

Осциллографы имеют параллельную (многопроцессорную) архитектуру обработки информации. При этом один процессор, подключенный к многомерной памяти, управляет только сбором информации, другой же — видеосистемой. Этот шаг позволил довести скорость регистрации сигнала (частоту запуска) осциллографа примерно до 100.000 в секунду по сравнению с двумя - тремя тысячами однопроцессорного ЦЗО. Некоторые осциллографы способны делать миллионы актов регистрации в течение секунд, что чрезвычайно повышает вероятность регистрации переходных процессов и трудноуловимых событий — всего того, что характеризует динамическое поведение сигналов. Такой осциллограф переводит в растровый формат оцифрованные данные о форме сигнала в базу данных «цифрового люминофора». «Сердцем» технологии цифрового люминофора или «цифрового фосфора» является специализированный процессор *DPX*, преобразующий цифрованную осциллограмму в динамическую трехмерную базу данных, которую и называют «цифровым фосфором». Каждую 1/30-ую долю секунды изображение, сохраненное в этой базе, переносится системой отображения на дисплей. Каждый элемент этой трехмерной базы данных соответствует пикселю дисплея фосфорного осциллографа. Если сигнал появляется в данной точке экрана часто, то яркость этой точки будет больше, чем у соседних точек, которые появляются реже. Таким образом, при отображении осциллограммы на экране прибора появляется новая переменная — яркость (аналогично прибору с ЭЛТ с длительным послесвечением), характеризующая частоту появления сигнала в данной точке экрана. Если заменить яркостную шкалу цветовой шкалой, то появляется эффективная возможность цветового выделения редких аномалий

сигналов. Такой процесс прямой растеризации данных о форме сигнала и непосредственное копирование из базы данных в память дисплея, устраняет недостаток, связанный с обработкой данных, что присуще любым другим типам цифровых осциллографов. В результате на дисплее можно наблюдать «живые» сигналы в реальном времени. Все их подробности, перемежающиеся события, динамические характеристики – все регистрируется в режиме реального времени. Микропроцессор функционирует параллельно с интегрированной системой захвата, осуществляя управление дисплеем, автоматическими процедурами измерений и общее управление прибором. Таким образом, производительность процессора не влияет на скорость регистрации. [9]

### 1.3.3 Осциллографы смешанных сигналов

Осциллографы смешанных сигналов (*MSO*) сочетают характеристики осциллографов с цифровым люминофором с базовыми функциями 16-канального логического анализатора, включая возможность декодирования протокола параллельных/последовательных шин и запуска по сигналам этих шин. На рисунке 4 показан осциллограф смешанных сигналов Hantek MSO-5202D.



Рисунок 4 - Осциллограф смешанных сигналов Hantek MSO-5202D

Цифровые каналы осциллографов смешанных сигналов, подобно любой логической схеме, видят цифровой сигнал, как последовательность высоких и низких логических уровней. Это значит, что пока звон, выбросы и скачки напряжения питания не вызывают логических переходов, эти аналоговые эффекты в осциллографе не учитываются и на экране их не видно. Подобно

логическому анализатору, для определения высокого или низкого логического уровня сигнала осциллографы используют пороговое напряжение. Такой осциллограф очень удобен для быстрой отладки цифровых схем, предлагая разнообразные функции запуска, регистрацию с высоким разрешением и средства анализа. Одновременный анализ аналоговых и цифровых сигналов, позволяет быстро выявлять основные причины многих проблем, превращая осциллограф в идеальный прибор для проверки и отладки цифровых схем. [9]

### 1.3.4 Цифровые стробоскопические осциллографы

Стробоскопический осциллограф работает только с периодическими сигналами. Внешний вид одного из представителей этого класса приборов – стробоскопического осциллографа Tektronix DSA8300 показан на рисунке 5.

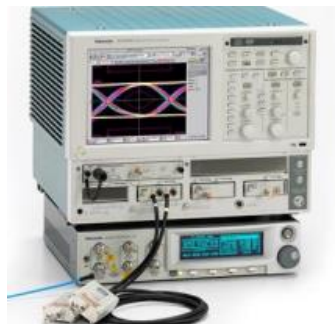
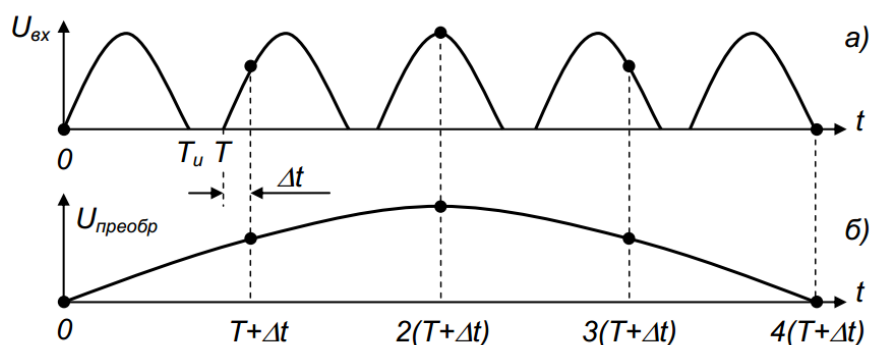


Рисунок 5 - Стробоскопический осциллограф Tektronix DSA8300

В приборах такого типа используется такой принцип как последовательное стробирование мгновенных значений сигнала для преобразования (сжатия) спектра. При каждом повторении сигнала производится выборка его значения только в одной точке. К приходу следующего сигнала точка выборки смещается по сигналу на интервал  $\Delta t$  и делается момент времени  $T + \Delta t$ , как показано на рисунке 6, где  $T$  – период входного сигнала. Следующая выборка делается в момент времени  $(T + \Delta t)$  и т.д., до тех пор, пока весь сигнал не будет простробирован.



а) входной сигнал б) преобразованный сигнал

Рисунок 6 - Принцип действия цифрового стробирующего осциллографа;

Преобразованный сигнал, представляет из себя огибающую мгновенных значений входного сигнала так же повторяет его форму. Длительность преобразованного сигнала во много раз превышает длительность входного исследуемого сигнала и, следовательно, расширяется полоса пропускания так как имеет место сжатие спектра. Полоса пропускания стробоскопических осциллографов может достигать до 100 ГГц, что позволяет исследовать периодические сигналы пикосекундного диапазона. [9]

### 1.3.5 Виртуальные осциллографы

Новый класс осциллографов, имеющий возможность быть как внешним прибором с USB или параллельным портом ввода-вывода данных, так и внутренним дополнительным прибором на основе PCI или ISA карт. Внешний вид одного из таких приборов показан на рисунке 7.



Рисунок 7 - Виртуальный осциллограф

Программное обеспечение любого виртуального осциллографа дает возможность полного управления прибором, а также предоставляет ряд дополнительных возможностей, например, экспорт-импорт данных, математическая обработка сигналов, расширенные измерения, цифровая фильтрация и т.д. На базе *ПК* могут использоваться для очень большого спектра измерений, как в различных областях радиоэлектроники, так и в смежных областях жизнедеятельности человека. Они обладают очень высокими эксплуатационными характеристиками и являются альтернативой традиционным ЦЗО. [9]

### **1.3.6 Портативные осциллографы**

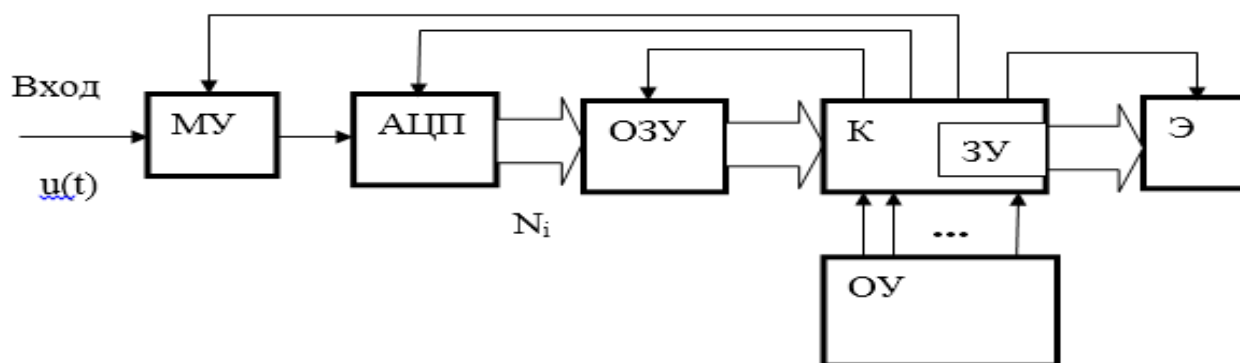
Прогресс в области интегральных технологий позволил создать портативные осциллографы с отличными габаритными показателями и с малым энергопотреблением, рисунок 8. Портативные приборы с питанием от батареек не уступают стационарным ЦЗО по использованию и имеют большой потенциал. [2]



Рисунок 8 - Портативный осциллограф

### **1.4 Параметры и принципа действия цифровых осциллографов**

Рассмотрим параметры и принцип действия цифровых осциллографов. На рисунке 9 в предельно упрощенном виде показана структурная схема цифрового осциллографа.



МУ – масштабирующее устройство (усилитель и делитель напряжения); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; К – контроллер; ЗУ – запоминающее устройство; Э – экран; ОУ – органы управления (кнопки, ручки).

Рисунок 9 - Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа

Пройдя через масштабирующее устройство, входное напряжение  $u(t)$  преобразуется аналого-цифровым преобразователем в дискретную последовательность кодовых слов  $N_i$ , отображающих мгновенные значения  $u_i$  этого напряжения. Каждое новое кодовое слово записывается в оперативное запоминающее устройство. При этом все предыдущие записанные отсчёты сдвигаются на одну ячейку (регистр сдвига), а самый первый  $N_1$  исчезает, как бы «выталкивается». Если оперативное запоминающее устройство состоит из  $M$  ячеек, то в нём, постоянно обновляясь, содержится  $M$  последних, «свежих», кодовых слов. Так продолжается до тех пор, пока не будет выполнено некое заданное условие, например, когда какое-либо  $u_i$  впервые превысит заданный оператором уровень («запуск по уровню»). После этого содержимое некоторого количества ячеек оперативного запоминающего устройства переписывается в запоминающее устройство, входящее в состав контроллера. [10]

Каждой ячейке запоминающего устройства соответствует точка на экране по цвету отличающаяся от фона. Её абсциссу определяет номер ячейки, а ординату кодовое слово  $N_i$ , находящееся в этой ячейке.

Для хорошего изображения сигнала на экране вполне достаточно две точки на 1 мм. Средних размеров экран имеет высоту 100 мм и ширину 120 мм.

Следовательно, на экране должны располагаться  $200 \times 240 = 48\,000$  точек или более.

Таким образом, для формирования хорошего изображения аналого-цифровой преобразователь должен иметь не менее 8 двоичных разрядов (256 точек по вертикали) и запоминающее устройство должно содержать 256 ячеек.

Но количество ячеек оперативного запоминающего устройства может быть гораздо больше.

Цифровой осциллограф позволяет запомнить в оперативной памяти очень много кодовых слов, а затем забирать их частями, соответственно ширине экрана. Это невозможно в аналоговых осциллографах. По оси времени («глубина памяти») можно использовать оценку продолжительности сигнала, данные о котором записаны в оперативном запоминающем устройстве: «число экранов». Так «8 экранов» значит, что объём памяти ОЗУ не 256, а 2048 ячеек, в которых записано 2048 кодовых слов  $N_i$ . Каждое  $N_i$  – это 8-разрядный код, иначе один байт, «8 экранов» – это объём памяти в 2 килобайта. [10]

Важная отличительная особенность от аналоговых осциллографов состоит в том, что в цифровых можно видеть предысторию сигнала до появления импульса запуска, данная функция носит название - «предзапуск». Кодовые слова переписываются из оперативной памяти в запоминающее устройство и в момент поступления импульса запуска первой ячейкой запоминающего устройства будет та, что даёт точку на вертикальной линии, проходящей через центр экрана, следующие точки будут располагаться по правую сторону от неё, предыдущие – по левую. Первую ячейку можно сместить влево или вправо от центра и тем самым соответственно уменьшить или увеличить видимый интервал предыстории.

Частоту дискретизации (частоту выборок) можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в аналоговых осциллографах.



Для изменения масштаба по вертикали, как и в аналоговом осциллографе, нужно поменять коэффициенты усиления или деления соответственно входного усилителя или делителя напряжения.

В целом цифровой осциллограф имеет больше сходства с компьютером, чем с аналоговым осциллографом. Он позволяет выполнять различные математические операции: растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, определять частотный спектр сигнала путём применения быстрого преобразования Фурье.

Важными параметрами определяющие возможности использования цифровых осциллографов это технические характеристики позволяющие потенциальным пользователям при выборе прибора оценить и сравнить между собой возможные модели из большого наличия, предложенного производителями.

Основными параметрами являются: полоса пропускания, частота дискретизации, объём памяти.

Полоса пропускания определяется как полоса частот, в пределах которой входной синусоидальный сигнал ослабляется осциллографом не более чем до 70,7 % или по уровню до минус 3 дБ. Но для цифровых осциллографов различны такие понятия как полосы пропускания для повторяющихся сигналов и полосы пропускания для однократных сигналов. Первая не зависит от таких данных как частота дискретизации, и имеет достаточно высокое значение так как осциллограф воспроизводит повторяющийся сигнал за несколько запусков. В случае же с однократными или с непериодическими сигналами полоса пропускания зависит от частоты дискретизации, так как осциллографу нужно взять и оцифровать поступивший сигнал за один такт. [10]

При выборе цифрового осциллографа существует правило, что полоса пропускания должна минимум в три раза превышать значения основных частот исследуемых сигналов и чем больше соотношение (может достигать 10:1), тем точнее результат выдает осциллограф.

Не менее важная характеристика, которая определяет требования пользователя к полосе частот, время нарастания фронта импульса. Довольно часто сигналы содержат множество гармоник на частотах, отличающихся от фундаментальных значений частот тестируемого сигнала. Когда пользователь рассматривает прямоугольный сигнал, то он содержит частоты в 10 раз которые выше базовой частоты тестируемого сигнала. В том случае, когда значение полосы частот осциллографа будет неудовлетворительным, при тестировании сигналов на экране вместо чётких и ясных краёв, показывающих высокую скорость нарастания фронта импульса, будут отображаться закруглённые углы.

Частота дискретизации - это скорость с которой осциллограф оцифровывает входной сигнал. При более высоких значениях эта составляющая ответственна за более высокие значения полосы пропускания одиночных сигналов и дает лучшее разрешение. Также нужно отметить: приведенное в инструкции значение частоты дискретизации касается только одного канала, а при работе с несколькими каналами одновременно данные этого показателя уменьшаются и приводят к искажению сигналов. Следует уточнить: большее количество осциллографов работает на максимальной частоте дискретизации только на самых быстрых скоростях развертки, а на медленных скоростях развертки частота дискретизации соответственно уменьшается. [12]

Память осциллографа ограничена, поэтому необходимо ограничить частоту выборки, так как, чем глубже память осциллографа, тем больше нужно времени на захват точек данных при максимальном значении частоты дискретизации. [13]

Показателем цифрового прибора, связанным со значением частоты дискретизации и зависящим от требуемого времени непрерывного анализа, является объем памяти. Приборы с большим объемом памяти позволяют оценивать полученные сигналы продолжительные периоды времени с большим разрешением между точками. Учитывая значения временного интервала (ВИ) и частоты дискретизации (ЧД), можно узнать величину объема памяти (ОП):

$$ОП=ЧД\times ВИ \quad (1)$$

Из описанного выше можно сделать несколько выводов:

Для сохранения максимальной частоты дискретизации при увеличении значений коэффициента развертки необходимо увеличивать размер внутренней памяти. При уменьшении длины внутренней памяти и постоянном коэффициенте развертки, частота дискретизации неизбежно уменьшается. [10]

Количество каналов – характеристика цифровых осциллографов, которая обеспечивает пользователю возможность одновременного исследования двух или больше сигналов. Стоит отметить, что на сегодняшний день наибольшим спросом пользуются двухканальные осциллографы. Существуют также осциллографы, включающие в себя как основные, так и дополнительные каналы. В этом случае в осциллографе имеются аналогово-цифровые преобразователи для основных каналов, а дополнительные каналы используются для работы с цифровыми сигналами. [1]

Режимы синхронизации – запуск осциллографа по фронту используется большинством пользователей и является достаточным для решения общих задач. Но при постановке более сложных проблем (исследование сигналов сложных форм) возникает потребность в использовании дополнительных возможностей по запуску. Современные модели осциллографов предлагают дополнительные функции запусков, например, по логическому состоянию, по импульсной помехе, по телевизионному или видеосигналу и т.д. [1]

Режимы курсорных измерений — позволяют производить амплитудные или временные измерения путем установки вертикальных или горизонтальных курсоров в нужные отметки осциллограммы. При амплитудных измерениях определяется разность напряжений, а при временных данных — разность значений по оси времени [10].

Согласно ГОСТ [11-13] на осциллографы выделяются следующие основные параметры:

- значения коэффициентов развертки, погрешность коэффициента развертки или связанная с ним погрешность измерения временных интервалов,

- значения коэффициентов отклонения, погрешность коэффициента отклонения или связанная с ним погрешность измерения напряжения,
- параметры входа каналов вертикального и горизонтального отклонения включая: активное входное сопротивление, входную емкость, коэффициент стоячей волны; допускаемое суммарное значение постоянного и переменного напряжения,
- параметры переходной характеристики (ПХ), включая: время нарастания: выброс, неравномерность вершины и время установления,
- диапазон длительностей развертки и погрешность измерения временных интервалов,
- параметры синхронизации, включая диапазон частот; предельные уровни нестабильность.

Коэффициенты отклонения указываются в мВ/дел или В/дел. Если указано 2 мВ/см, то это означает, что сигнал в 2 мВ вызовет отклонение луча на 1 см. Коэффициенты разверток указывают за сколько наносекунд, микросекунд или секунд луч осциллографа пройдет путь в 1 см. Переходная характеристика в первом приближении есть реакция осциллографа на быстрый перепад напряжения (теоретически с нулевой длительностью). Время нарастания переходной характеристики оценивается как время нарастания осциллограммы сигнала от уровня 10 % от его перепада до уровня в 90 % от величины перепада. Оценивается (в процентах) также короткий выброс переходной характеристики и медленный спад в области больших времен. Иногда вводится параметр - время установления, который характеризует время, в течение которого завершаются переходные процессы реакции на короткий перепад. [13]

## 2 Устройства-прототипы создаваемого прибора

Прежде чем приступить к разработке программного цифрового осциллографа в среде LabVIEW, необходимо рассмотреть устройства-прототипы, в частности аппаратный цифровой осциллограф АКТАКОМ АСК-2041 и программный цифровой осциллограф ELVIS (разработка National Instruments).

### 2.1 Осциллограф фирмы АКТАКОМ

#### 2.1.1 Основные характеристики осциллографа

Подробно рассмотрим цифровой осциллограф АКТАКОМ АСК-2041. Его основные характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики осциллографа АКТАКОМ АСК-2041

Характеристика	Значение
Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента отклонения, % с пробником X1 (1:1) с пробником X10 (1:10)	$\pm 4$ ; $\pm 5$ ;
Диапазон установки коэффициента отклонения для каждого из каналов	от 2 мВ/дел до 5 В/дел
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц	40
Число разрядов АЦП	8 бит
Объем памяти, кБ	4
Входной импеданс каждого из каналов: С пробником X1 С пробником X10	$R_{вх} = 1 \text{ МОм} \pm 2\%$ ; $C_{вх} = (100 \pm 25) \text{ пФ}$ ; $R_{вх} = 10 \text{ МОм} \pm 2\%$ ; $C_{вх} = (16 \pm 3) \text{ пФ}$
Допускаемое суммарное значение переменного и постоянного (пикового) напряжения: С пробником X1 С пробником X10	40 400
Максимальная частота дискретизации, МГц	200 реальная, 20000 эквивалентная
Объем выборки	4000 отсчетов

#### 2.1.2 Органы управления осциллографом

На лицевой панели осциллографа справа от экрана расположены органы управления – кнопки и ручки, а также разъёмы (рисунок 10). Описание органов

управления приведены в таблице 4.

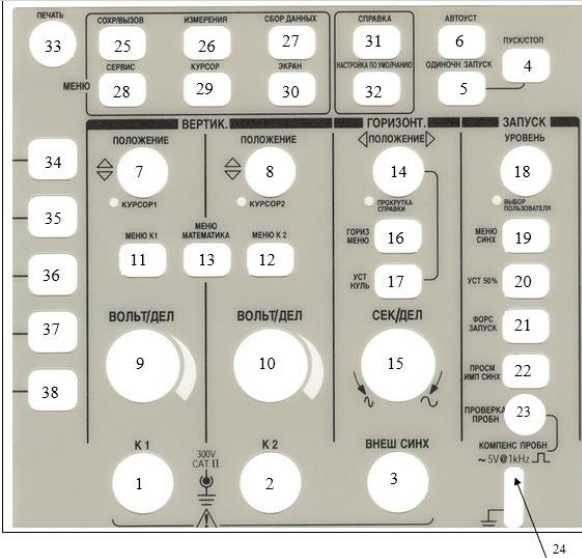


Рисунок 10 - Органы управления осциллографом

Таблица 4

Обозначение и сокращение органов управления	Краткое пояснение функции
1, 2 – К 1 (Канал 1), CH 1 (сокр. от Channel); К 2 (Канал 2), CH 2	вход канала 1; вход канала 2;
3 – ВНЕШ СИНХ, EXT TRIG (сокр. от External Trigger)	вход внешнего запуска;
4 – ПУСК/СТОП, RUN/STOP	циклически повторяющийся запуск для сбора данных/остановка сбора данных (режимы чередуются при повторных нажатиях кнопки);
5 – ОДИНОЧН ЗАПУСК, SINGLE SEQ (сокр. от Sequence – последовательность, порядок)	разовый (не повторяющийся) запуск;
6 – АВТОУСТ, AUTO SET	получение изображения с автоматически установленными масштабами и положением по вертикали и горизонтали; режим очень удобен для быстрого получения устойчивого изображения сигнала;
7; 8 – ПОЛОЖЕНИЕ или КУРСОР 1, КУРСОР 2, POSITION или CURSOR 1, CURSOR 2	установка положения по вертикали изображений сигналов в каналах 1 и 2;
9; 10 – ВОЛЬТ/ДЕЛ, VOLT/DIV (Div – сокр. от Division – деление)	установка масштабов по вертикали в каналах 1 и 2;
11, 12 – МЕНЮ К 1, CH 1 MENU; МЕНЮ К 2, CH 2 MENU	вызов меню каналов 1, 2;
13 – МЕНЮ МАТЕМАТИКА, MATH MENU (сокр. от Mathematics)	вызов меню математических функций (сложение или вычитание сигналов в каналах 1 и 2; быстрое преобразование Фурье сигнала в канале 1 или 2);
14 – ПОЛОЖЕНИЕ или ПРОКРУТКА СПРАВКИ, POSITION или HELP SCROLL	установка положения по горизонтали изображений сигналов в каналах 1 и 2; альтернативная функция этой ручки – прокрутка справки – действует после нажатия кнопки 31;

Обозначение и сокращение органов управления	Краткое пояснение функции
15 – СЕК/ДЕЛ, SEC/DIV	установка масштаба по горизонтали; действует так же, как в аналоговых осциллографах, с той только разницей, что значения установленного масштаба прочитываются не по положению ручки, а индицируются внизу экрана; в зависимости от выбранного варианта горизонтального меню (кнопка 16) эта ручка устанавливает масштаб в основном режиме;
16 – ГОРИЗ МЕНЮ, HORIZ MENU	вызов меню развёртки изображения по горизонтали;
17 – УСТ НУЛЬ, SET TO ZERO	установка момента запуска в середину экрана (установка «нуля»);
18 – УРОВЕНЬ или ВЫБОР ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ, LEVEL или USER SELECT	установка уровня запуска. При запуске по уровню эта ручка устанавливает уровень напряжения, по достижении которого на фронте (или на спаде) происходит запуск;
19 – МЕНЮ СИНХ, TRIG MENU (сокр. от Trigger)	вызов меню синхронизации (правильнее – меню запуска);
20 – УСТ 50 %, SET TO 50 %	установка уровня напряжения при запуске по уровню, соответствующего середине между максимальным и минимальным значениями сигнала для быстрого получения устойчивого изображения;
21 – ФОРС ЗАПУСК, FORCE TRIG	форсированный запуск, используемый для того, чтобы завершить сбор данных, даже если условие запуска не выполнено;
22 – ПРОСМ ИМП СИНХ, TRIG VIEW	просмотр на экране импульса синхронизации (импульса запуска);
23 – ПРОВЕРКА ПРОБН, PROBE CHECK	кнопка, которую надо нажать при проверке пробника (в лабораторной работе пробники не используются);
24 – КОМПЕНС ПРОБН, PROBE COMP (сокр. от Compensation)	вывод источника импульсного напряжения прямоугольной формы с размахом 5 В, частотой 1 кГц и скважностью 2, предназначенного для проверки пробника и его настройки;
25 – СОХР/ВЫЗОВ, SAVE/RECALL	вызов меню сохранения в памяти и вызова из памяти настроек или изображений сигнала;
26 – ИЗМЕРЕНИЯ, MEASURE	вызов меню автоматически выполняемых осциллографом измерений (11 параметров сигнала);
27 – СБОР ДАННЫХ, ACQUIRE	вызов меню сбора данных;
28 – СЕРВИС, UTILITY	вызов сервисных меню;
29 – КУРСОР, CURSOR	вызов меню курсорных измерений;
30 – ЭКРАН, DISPLAY	вызов меню режима работы экрана;
31 – СПРАВКА, HELP	– вызов справочного материала об осциллографе;
32 – НАСТРОЙКА ПО УМОЛЧАНИЮ, DEFAULT SETUP	установка настройки, предусмотренной изготовителем;
33 – ПЕЧАТЬ, PRINT	вывод всех данных, имеющихся на экране на принтер или компьютер;
34 - 38	экранные кнопки, позволяющие управлять экранным меню.[14]

## **2.2 Особенности измерений цифровыми осциллографами**

### **2.2.1 Измерение постоянных напряжений**

С первого взгляда осциллограммы даже от самых сложных и дорогих цифровых осциллографов выглядят так же, как и осциллограммы аналоговых осциллографов. Однако принципы функционирования у этих приборов заметно отличаются и надо знать не только о достоинствах, но и о недостатках цифровых осциллографов. Несомненным достоинством цифровых осциллографов является высокая степень автоматизации измерений. Как правило, такие осциллографы дают точный и вполне однозначный результат вычисления большинства параметров исследуемого сигнала. Однако это справедливо для не слишком сложных сигналов и при наличии запасов по полосе частот канала вертикального отклонения. Высокая точность вычислений - также большое достоинство цифровых осциллографов. [10]

### **2.2.2 Измерение частотных и временных параметров цифровых осциллографов**

Измерение частотных параметров канала  $Y$  имеет свою специфику. Прежде всего надо отметить, что широкополосность этих приборов усложняет снятие АЧХ и ФЧХ канала  $Y$  кроме того, из-за дискретного представления сигналов их отображение на краях полосы пропускания может оказаться затруднительным. В связи с этим предпочтительны испытания во временной области. Напомним, что параметры осциллографа во временной области характеризуется параметрами его переходной характеристики. Обычно используются следующие параметры:

- время нарастания (спада) - время, в течение которого импульс изменяет свое значение от уровня 0,1 до уровня 0,9 или (при спаде от уровня 0,9 до 0,1), время измеряется в секундах или долях секунды;



- выброс на вершине (спаде) - процентное отношение значения превышения амплитуды при установившемся импульсе к амплитуде импульса, измеряется в процентах;

- время установления - время, в течение которого колебательные процессы о на вершине импульса не станут меньше 1 % амплитуды импульса.

Однако спецификой цифровых осциллографов являются очень малые значения этих времен, нередко находящиеся в субнаносекундном и даже пикосекундном диапазоне. При этом практически невозможно обеспечить измерение этих параметров от идеальных перепадов напряжения. Более того, такие измерения часто приводят к слишком большому значению выброса переходной характеристики и возрастанию времени установления. Поэтому при испытаниях цифровых осциллографов нужно оговаривать и выдерживать условия измерения. На рисунке 1 приведены данные испытания цифрового осциллографа. Здесь сняты осциллограммы реакции цифрового осциллографа LeCroy WR-6030 на перепад напряжения с длительностью 500, 150 и 50 пс. [15]

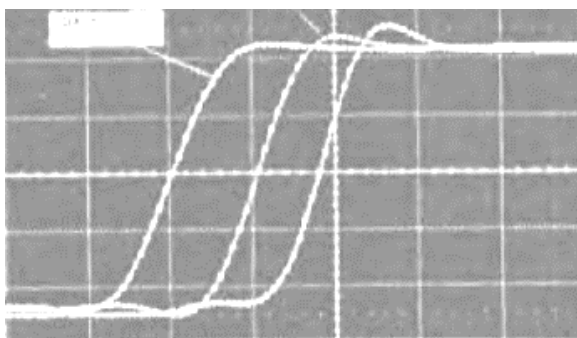


Рисунок 11 - Осциллограммы реакции цифрового осциллографа LeCroy WR-6030 на перепады напряжения разной длительности

Результаты испытаний представлены в таблице 5, ниже.

Таблица 5 - Результаты испытаний реакции цифрового осциллографа LeCroy WR-6030 на перепады напряжения разной длительности

Длительность перепада - $t_n$ , пс	Время нарастания - $t_n$ , пс	Выброс, %
500	572	1,7
150	467	5,0
50	450	9,0

Из них отчетливо видно, что измерения с чрезмерно малой длительностью перепада дают очень небольшое уменьшение времени нарастания переходной характеристики, но резко увеличивают ее выброс. Цифровые осциллографы, в отличие от аналоговых, практически не нуждаются в калибровке генераторов развертки. Они у них цифровые ступенчато нарастающие напряжения развертки формируются счетчиками опорной частоты, стабилизированной кварцем. Кварцевые генераторы обеспечивают стабильность около  $10^{-5}$  даже без термостатирования, однако погрешность при снятии осциллограмм может быть заметно выше, оставаясь, как правило, не более 0,01 %. При этом надо следить за правилами измерения временных параметров сигналов, например за размером изображения на экране. Некоторые осциллографы, например LeCroy Wave Runner, способны измерять временные и частотные параметры сигналов с погрешностью до  $10^{-5}$ . [15]

### **2.2.3 Выбор вида интерполяции**

При наблюдении почти синусоидальных высокочастотных сигналов аналоговые осциллографы имеют явные преимущества перед цифровыми приборами. У них форма синусоидального сигнала не ухудшается с ростом его частоты. Более того, она обычно улучшается, так как высокочастотные гармоники слабо искаженного сигнала отсекаются. Если частота его близка к верхней границе полосы пропускания. [10]

Совсем иначе обстоит дело с цифровыми осциллографами. Как уже отмечалось, у них сигнал представляется конечным числом дискретных значений - выборок. У высокочастотных сигналов число выборок может стать меньше десяти. В промежутках между выбор невозможно судить о характере и форме сигнала. Он может быть постоянным, меняющимся по тому или иному закону, содержащим короткие выбросы и т. д. Осциллограф может представлять осциллограмму в виде точек, и это будет единственный научно обоснованный способ представления сигналов в виде выборок. Однако вид такой

осциллограммы будет не удовлетворительным, да и яркость осциллограммы окажется низкой. Поэтому в цифровых осциллографах принято использовать тот или иной метод интерполяции сигнала в промежутках между точками отсчетов. Простейшая интерполяция обычно бывает линейной, в более сложном случае используется интерполяция функцией  $\sin(x)/x$  на рисунок 12 показаны осциллограммы цифрового осциллографа LeCroy WS-452, с полосой пропускания 500 МГц и частотой дискретизации 2 Гвыб/с. На оба входа прибора подан синусоидальный сигнал с частотой 500 МГц. [15]

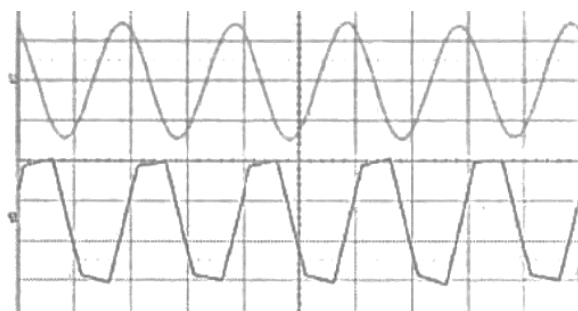


Рисунок 12 - Осциллограммы сигнала 500 МГц, полученные с осциллографов LeCroy WS-452 при интерполяции функции  $\sin(x)/x$  (сверху) и при линейной интерполяции (снизу)

Представленный на рисунке 12 результат говорит о том, что при осциллографировании синусоидального сигнала интерполяция функцией  $\sin(x)/x$  дает явное преимущество, так как функция синуса интерполируется функцией синуса. Можно сделать вывод, что такая интерполяция будет иметь преимущество и для представления гладких (плавно изменяющихся) осциллограмм, однако, осциллограммы разрывных или линейно изменяющихся сигналов будут лучше представляться линейной интерполяцией. Тем более что скорость вывода изображения на экран при этом явно выше.

#### **2.2.4 Работа с памятью цифрового осциллографа**

Специфическим параметром цифрового осциллографа является длина его памяти. Аналоговый осциллограф практически мгновенно реагирует на

изменения исследуемого сигнала. Цифровой осциллограф обеспечивает обновление изображения на экране после заполнения памяти. Однако использование памяти дает огромное преимущество можно записать большой фрагмент исследуемого процесса в память и затем спокойно не торопясь просмотреть любую его часть, вызывая ее из памяти (рисунок 13).

Это делается с помощью окна просмотра, в котором размещается часть хранящейся в памяти осциллограммы. Это напоминает (чисто визуально) наблюдение части изображения при сильно растянутой развертке или при использовании задержанной развертки в аналоговых осциллографах. [10]

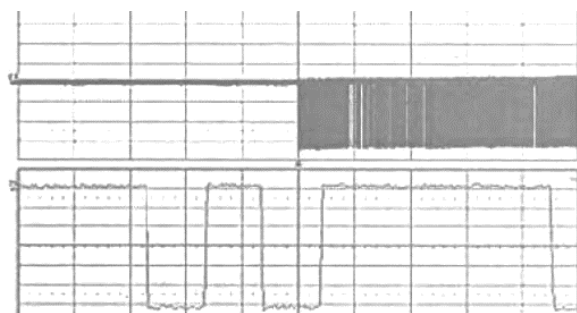


Рисунок 13 - Просмотр части изображения (нижняя осциллограмма) из общего изображения (верхняя осциллограмма), хранящегося в памяти (развертка 5 мс, растянутый фрагмент 1 мкс).

С длиной памяти связаны реальные частоты дискретизации сигналов. Нередко максимальная частота дискретизации (например, 20 или даже 25 ГГц) оказывается недостижимой в режиме реального времени из-за переполнения памяти. Но она может оказаться полезной в режиме усреднения. Память цифровых осциллографов быстро растет - если у Tektronix TDS-3032 она достигает 10 кбайт на каждый канал, то у LeCroy WaveSurfer-432 она составляет 2 Мбайт. Современные цифровые запоминающие осциллографы, например LeCroy Wave Master-8620 A, имеют длину внутренней памяти 96 Мбайт. [10]

## 2.3 Виртуальный осциллограф NI ELVIS

Осциллограф (Oscilloscope – Scope) обладает функциональными возможностями настольного прибора. NI ELVIS имеет два канала. Он снабжен

регуляторами: выбор масштаба, сдвиг лучей, переключатели временной развертки, выбор источника и режима запуска. Автомасштабирование дает возможность отрегулировать масштаб по оси Y. В зависимости от типа модуля ввода-вывода, подключённого к NI ELVIS, запуск может быть как аналоговый так и цифровой. Сигналы на осциллограф поступают от макетной платы или через разъёмы типа BNC, которые установлены на лицевой панели рабочей станции. [15]

Рабочая станция NI ELVIS предусматривает возможность подключения к осциллографу функционального генератора или цифрового мультиметра. Помимо этого, программное обеспечение программного осциллографа позволяет использовать курсоры для измерений параметров осциллограммы. Скорость сбора данных осциллографа ограничена максимальной частотой дискретизации модуля ввода-вывода, с помощью которого осциллограф подключен к компьютеру. [15]

Технические характеристики осциллографа приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики осциллографа NI ELVIS

Характеристика	Значение
Диапазон установки коэффициента отклонения для каждого из каналов	от 10 мВ/дел до 5 В/дел
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц	1,7
Число разрядов АЦП	16 бит
Входной импеданс:	$R_{вх} = 1 \text{ МОм}$ ; $C_{вх} = 25 \text{ пФ}$
Максимальная частота дискретизации, МГц	1,25 одноканальный; 0,5 двухканальный
Объем выборки	4095 отсчетов

Лицевая панель виртуального прибора показана на рисунке 14.

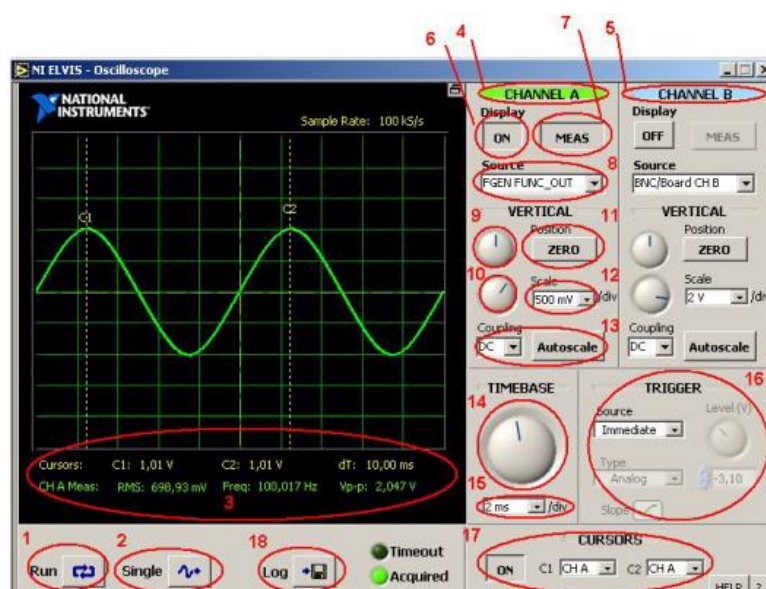


Рисунок 14 - Лицевая панель осциллографа

Описание органов управления приведено в таблице 7.

Таблица 7 - Назначение элементов управления осциллографа

№	Краткое пояснение функции
1	кнопка запуска циклических (непрерывных) измерений;
2	кнопка запуска однократных измерений;
3	информация о текущих результатах измерения: Freq – частота; RMS – среднеквадратическое значение сигнала; dT – разница по времени между точками C1 и C2; C1, C2 – значение напряжений в точках; Vp-p – размах напряжения;
4, 5	канал А и канал В осциллографа;
6	кнопка для вывода сигнала на экран;
7	кнопка вывода на экран результата измерения (3);
8	выбор источника: BNC/Board CH A – выбор канала А на плате; ACH0 – нулевой канал; ACH1, ACH2, ACH5 – первый, второй и пятый каналы; FGEN FUNC_OUT – выходной сигнал функционального генератора; FGEN SYNC_OUT – TTL-сигнал той же частоты, что и выходной сигнал функционального генератора; DMM Voltage – выходной канал цифрового мультиметра;
9	ручка регулирования смещения сигнала по оси Y;
10	ручка регулирования масштаба напряжения по оси Y;
11	возврат сигнала на исходное значение;
12	значение масштаба напряжения по оси Y;
13	режим измерения: DC – постоянное напряжение; AC – переменное напряжение;
14	ручка регулирования масштаба времени по оси X;
15	значение масштаба времени по оси X;
16	вход сигнала запуска осциллографа;
17	ручной выбор точек измерения (точки C1, C2);
18	кнопка сохранения результатов измерения. [15]

Далее сравним функциональные возможности цифрового аппаратного и программного осциллографов, таблица 8.

Таблица 8. Сравнение функций осциллографов АКТАОМ АСК-2041 и NI ELVIS

Функция	АСК-2041	NI ELVIS II
Управление разверткой	✓	✓
Выбор источника сигнала	✓	✓
Выбор отметки запуска	✓	✓
Информация о текущих результатах измерения		
Измерения амплитудных параметров:		
Курсорные измерения	✓	✓
Измерение амплитуды	✓	✓
Измерение размаха	✓	
Измерение максимального, минимального напряжения сигнала	✓	
Измерение напряжения вершины и основания прямоугольного импульса	✓	
Измерение среднего напряжения сигнала	✓	
Измерение среднеквадратичного напряжения сигнала	✓	✓
Измерения временных параметров:		
Частота	✓	✓
Курсорные измерения	✓	
Период	✓	
Время нарастания, спада	✓	
Сквозность	✓	
Фаза	✓	
Математические функции:		
A+B Сложение сигналов Источника А и Источника В	✓	
A-B Разность сигналов Источника А и Источника В	✓	
A×B Произведение сигналов Источника А и Источника В	✓	
FFT Быстрое преобразование Фурье	✓	
Инвертирование осциллограммы	✓	
Построение фигур Лиссажу	✓	

В результате рассмотрения двух приборов, можно прийти к выводу о том, что программный осциллограф ELVIS гораздо уступает по функциональным возможностям аппаратному АСК-2041. После того как рассмотрены устройства-прототипы можно приступить к разработке программного цифрового осциллографа в среде LabVIEW.

### **3 Разработка виртуального прибора**

#### **3.1 Цифровая обработка сигналов и технология создания виртуальных приборов**

Программное обеспечение (ПО) микропроцессорных систем включает в себя две части, такие как программное обеспечение микропроцессора и компьютера. ПО должно быть загружено и храниться во внутренней памяти микропроцессора, его задачей является обеспечить работу аналого-цифрового преобразователя, генератора тестового сигнала, мультиплексора, а также он обеспечивает взаимодействие микроконтроллера и компьютера. Помимо этого ПО микропроцессора производит первичную обработку оцифрованного сигнала, далее обработкой занимается ПО компьютера.

Разработка программного обеспечения для компьютера требует навыка профессионального программиста. Технология создания виртуальных приборов может позволить создавать системы управления, измерения и диагностирования различного назначения любого уровня сложности, не исключая математическое моделирование и тестирование этих систем практически без участия высококвалифицированного специалиста. Технология представляет собой в компьютерную имитацию реальных управляющих и измерительных систем. Среда разработки LabVIEW является именно таким инструментом технологии создания виртуальных приборов. [17]

Достоинством технологии виртуальных приборов является возможность программным путем создавать измерительные приборы, системы и программно-аппаратные комплексы, которые легко адаптировать к изменяющимся условиям, сократить время и затраты на разработку.

Признанным мировым лидером технологии виртуальных приборов является компания National Instruments, которая уже более 30 лет производит аппаратное и программное обеспечение, позволяющее создавать системы управления, измерения и диагностики.



### 3.2 Среда разработки LabVIEW

В 1976 году тремя основателями - Джеймсом Тручардом, Джеффом Кодоски и Биллом Новлиным в американском городе Остин, штат Техас была создана Компания National Instruments. Компания специализировалась на инструментальных средствах измерений и автоматизации производства. [18]

В 1986 году вышла в свет первая версия LabVIEW. Инженеры NI приняли решение отойти в сторону от «традиционных» языков программирования и создали полностью графическую среду разработки. Основная идея графического подхода принадлежала Джеффу Кодоски. Со временем выпускались новые версии продукции. Кроссплатформенная версия была третьей и выпущена в 1993 году. На данный момент наиболее актуальной версией является версия 2017 года. [18]

LabVIEW – аббревиатура, которая расшифровывается следующим образом: Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (Лабораторная инструментальная инженерная техника). Из названия можно заметить, что платформа ориентирована на измерения, лабораторные исследования и сбор данных. В данной среде представляется возможным выполнять системное проектирование во многих отраслях, таких где требуется проведение измерений, испытаний и реализация управления, а также скоростной доступ к оборудованию и результатам анализа данных.

LabVIEW - это программное обеспечение для персонального компьютера, оно является одним из основных продуктов компании National Instruments, платформа и среда разработки для выполнения программ созданы на основе графического языка программирования «G». [17]

G - принципиально отличается от существующих языков программирования. Этот функциональный язык заставляет несколько иначе размышлять и предоставлять совершенно новые возможности для разработчика. Восходя от версии к версии в данный язык вводятся новые конструкции.

Среда разработки LabVIEW является высокоэффективной средой графического программирования. Расширенные функциональные возможности данной среды дают возможность использовать ее в своей работе как инженеру так и студенту. Поскольку процесс графического программирования интуитивно понятен, он даёт возможность специалисту уделять больше внимания решению проблемы, нежели процессу программирования. [18]

### **3.2.1 Возможности языка LabVIEW**

Особенности среды программирования LabVIEW:

- наличие программных инструментов для управления оборудованием, сбора данных, обработки сигналов и экспериментальных данных, создания отчетов, передачи и приема экспериментальных данных;
- функционально полный язык графического программирования, позволяющий создавать программу в форме наглядной графической блок-схемы;
- наличие более 2000 драйверов, которые дают возможность интегрирования разработанной программы и оборудование любых фирм через встроенные интерфейсы;
- мощное математическое обеспечение, возможность интеграции программ, написанных в среде математического пакета Matlab;
- не смотря на то, что продукт LabVIEW зачастую тесно связан с аппаратной частью National Instruments, он тем не менее не привязан к конкретному компьютеру, имеется возможность работы LabVIEW под управлением разных операционных систем Windows, Mac, Linux и Solaris.

Стандартный набор возможностей в LabVIEW включает в себя функции для работы с реестром, с двоичными и тестовыми файлами, математические функции, инструменты для построения графиков. Присутствуют основные характеристики объектно-ориентированных языков - полиморфизм и наследование. Функциональные возможности языка можно расширить дополнительными модулями, для примера NI Vision Toolkit – для обработки

изображений и машинного зрения. При помощи модуля Application Builder можно сгенерировать исполняемый exe-файл. Работать с ftp серверами можно с помощью Internet Toolkit, с помощью Database Connectivity Toolki - с базами данных и так далее.

LabVIEW является высокоуровневым языком. Язык содержит основные конструкции управления, которые имеют аналоги в «традиционных» языках:

- ветвление (case structure)
- переменные (локальные или глобальные)
- While – циклы
- For – циклы с проверкой завершения.
- группировка операций.

LabVIEW основан на концепции модульного программирования. В таком виде прикладная программа делится на ряд задач, которые можно разделить снова, до того момента пока сложно сконструированная прикладная программа не станет последовательностью простых подзадач. Далее формируются виртуальные приборы, чтобы выполнить свою подзадачу, а затем объединяются на блок-схеме для выполнения общей задачи. В результате виртуальный прибор верхнего уровня содержит совокупность подприборов.

Программу, которая написана в среде LabVIEW называют виртуальным прибором (ВП), основными его составляющими являются: лицевая панель, блок-схема, иконка и соединительная панель.

Блок-схема - это графическое изображение блоков, входящих в состав прибора, а также терминалы элементов управления, размещенных на лицевой панели. Как и в традиционной блок-схеме, сигнал в процессе обработки проходит через блоки от входа к выходу.

Лицевая панель содержит элементы управления и элементы отображения, она является графическим интерактивным интерфейсом пользователя для управления программой.

Иконка и соединительная панель виртуального прибора предназначены для передачи данных на входы виртуального прибора. Графическое изображение

ВП - иконка. Графическое изображение полей ввода и вывода данных в ВП - соединительная панель. Данные инструменты дают возможность использовать ВП как основные программы (программы верхнего уровня) или как подпрограммы внутри других программ или подпрограмм. Графическим эквивалентом подпрограммы в LabVIEW будет виртуальный подприбор (виртуальный субинструмент) subVI. [19]

Обработка сигнала блоком начинается только тогда, когда поток данных сформирован на его входе, такой принцип назван принципом обработки потока данных. Обработка последующим блоком начинается после окончания работы предыдущего блока. Обработка потока данных управляется самим потоком данных и зависит от самих данных (data dependent), то есть поток данных движется от блока к блоку, подчиняясь естественной причинно-следственной связи в цепи обработки сигнала. В отличие от обычных текстовых языков программирования порядок выполнения программы определяется последовательностью инструкций - потоком. Принцип потока данных LabVIEW делает разработку многопоточных и многозадачных программ более простой. [19]

### **3.2.2 Основы по созданию виртуальных приборов**

Для того, чтобы начать создавать проект, необходимо выполнить ряд действий.

В открытом окне предустановленного программного обеспечения LabView необходимо нажать File → New Project. Выбрать команду меню для отображения на экране окна Project Explorer. Чтобы получить тот же результат можно выбрать пункт Project → Empty Project в окне диалога New. Далее нужно добавить желаемые элементы для целевого устройства, то есть те, которые необходимы в данном проекте.

В проект можно добавить файлы, которые уже существуют. Чтобы это сделать можно использовать пункт меню My Computer в окне Project Explorer.

Элементы в проект можно добавлять следующим образом:

- правой кнопкой мыши нужно щелкнуть по ветке проекта My Computer и выбрать из открывающегося контекстного меню команду Add → File, для добавления файла. Чтобы получить тот же результат можно выбрать команду Project → Add to Project → File из меню Project Explorer;

- выбрать соответствующее целевое устройство, и нажать из контекстного меню команду New → VI, для того чтобы добавить новый пустой VI. Чтобы получить тот же результат можно выбрать команду меню File → New VI или Project → Add To Project → New VI;

- нажатие кнопкой мыши в правом верхнем углу лицевой панели или блок-диаграммы иконки VI и перетаскивание ее на элемент, соответствующий целевому устройству также добавляет элемент в проект;

- необходимо выбрать папку или элемент из системы на компьютере и перетащить его/ее на элемент, соответствующий целевому устройству;

Для того чтобы сохранить проект необходимо выбрать команду меню File → Save Project.

Программные модули, разрабатываемые в LabVIEW называются «Virtual Instruments» (Виртуальные Инструменты) или сокращенно - VI. Такие виртуальные инструменты или приборы сохраняются в файлах с расширением \*.vi. Каждый ВП (виртуальный прибор) имеет две составляющие - Передняя Панель (Front Panel) и Блок-Диаграмма (Block Diagram). Последняя - графическое визуальное отображение кода (программный код), а Передняя панель - это интерфейс прибора, который виден пользователю. Классический пример интерфейса и кода продемонстрирован на рисунке 15.

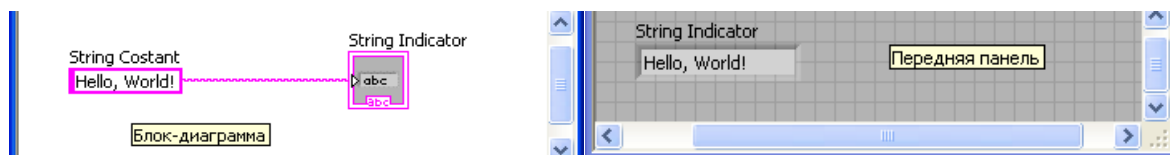


Рисунок 15 - Блок-диаграмма и передняя панель виртуального прибора

В основе LabVIEW лежит модель потоковых данных. В приведённом примере терминал индикатора и константа соединяются между собой линией. Такая линия называется Wire, можно перевести как «проводник». По проводникам передаются данные от одного элемента к другому. Вся эта концепция называется Data Flow. Блок Диаграмма – состоит из узлов, выходы одних узлов соединены со входами других. Узел будет выполняться только тогда, когда будут получены все необходимые данные для работы. На диаграмме вверху два узла. Один из которых - константа. Данный узел самодостаточен, поэтому он будет выполнен немедленно. Второй - индикатор. Он отобразит данные, которые передаёт константа

Циклы while и for, структура ветвления if, then и else выглядят следующим образом, рисунок 16.

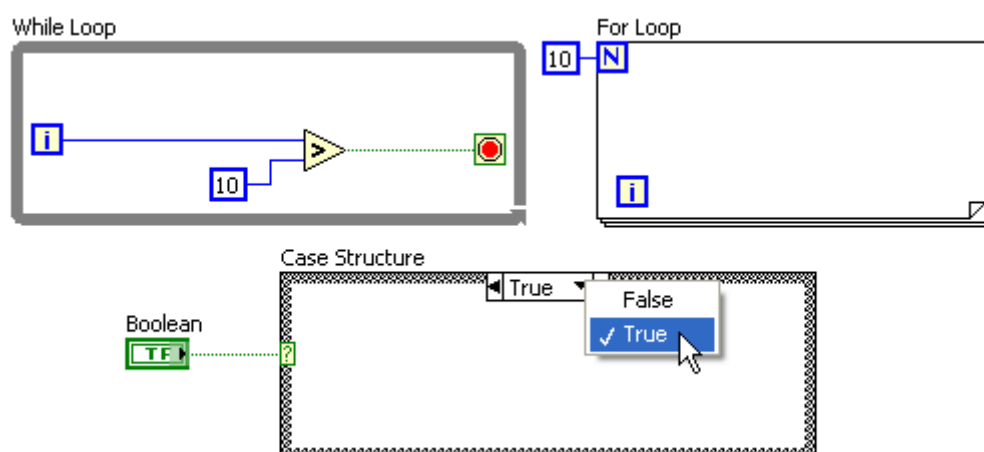


Рисунок 16 - Структуры в Labview

Все элементы имеют возможность выполняться параллельно. В распоряжении разработчика также существует широкий выбор инструментов для синхронизации потоковых данных – очереди, семафоры, рандеву и т.д.

LabVIEW имеет также широкий набор элементов для разработки пользовательского интерфейса. На рисунке 17 можно пронаблюдать типы блоков для ввода и отображения.

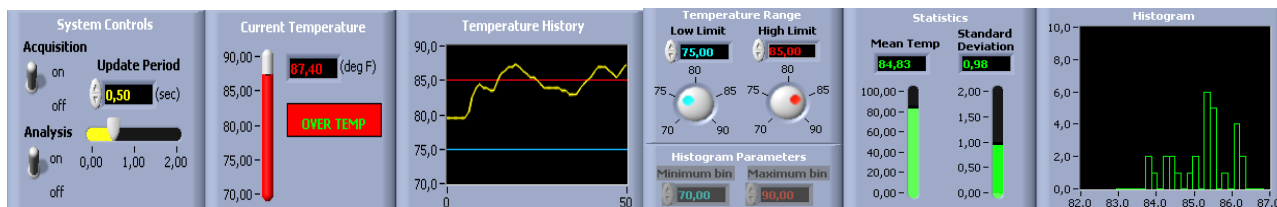


Рисунок 17 - Интерфейсы для работы с пользователем

### 3.2.3 Алгоритм прибора

На основе полученной ранее информации можно сформировать алгоритм цифрового программного осциллографа. Он продемонстрирован на рисунке 18.

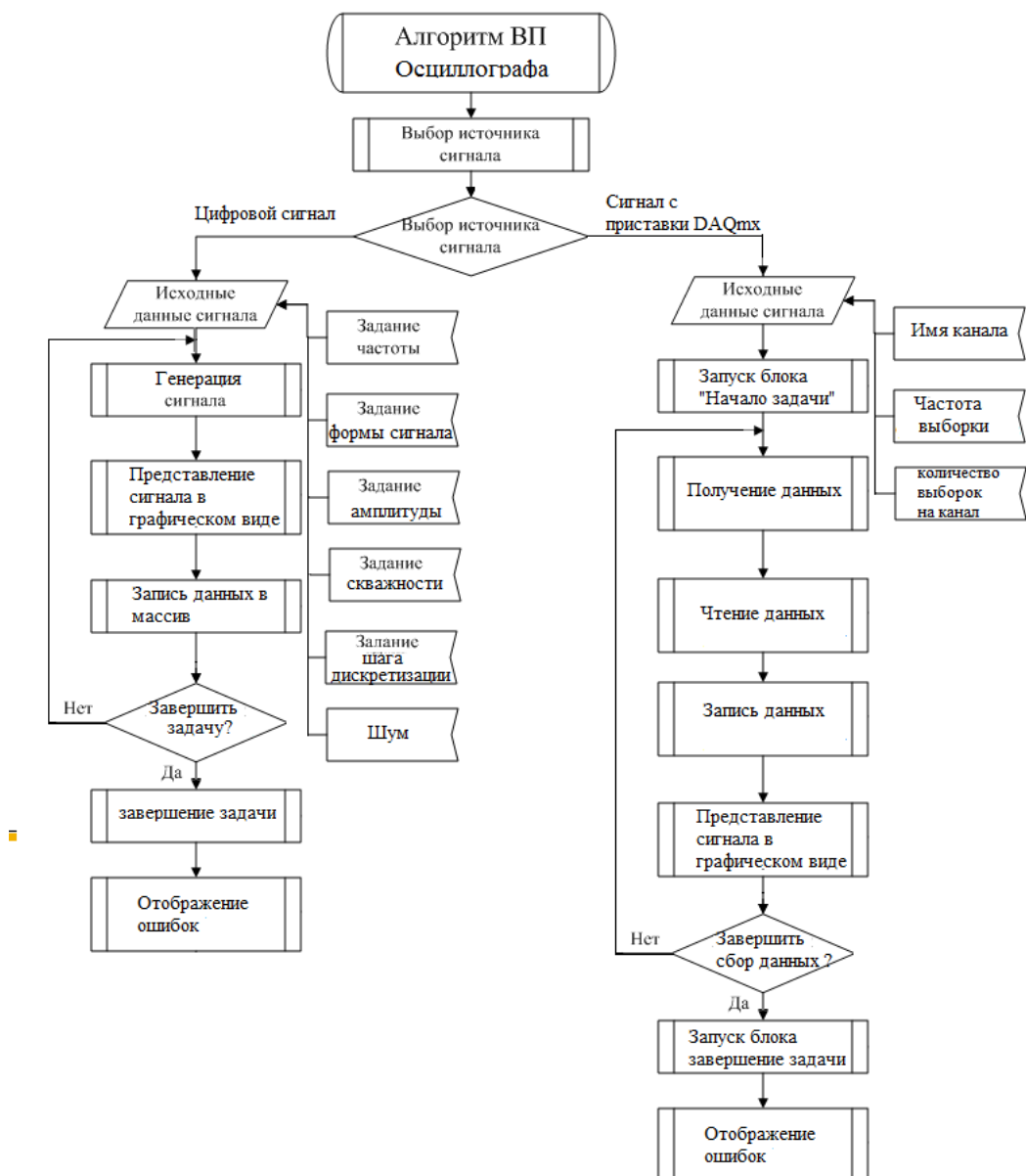


Рисунок 18 - Алгоритм работы виртуального прибора – осциллографа

Далее приступим к его реализации в выбранной среде разработки.

### 3.3 Прибор для генерации и обработки цифрового сигнала

Необходимо сформировать лицевую панель и блок-диаграмму создаваемого виртуального прибора. Для этого производится выбор и компоновку элементов управления и индикаторов, которые получены из палитры элементов этой панели. Таким же образом при разработке блок-диаграммы на ней нужно произвести выбор и установку функциональных элементов и подприборов, которые находятся в палитре функций данной панели. [18]

При установке любого элемента на лицевой панели появляется соответствующий «терминал данных (terminal)» и на поле блок-диаграммы. Порты ввода информации в блок-диаграмму - терминалы элементов управления, порты вывода информации из блок-диаграммы на лицевую панель представлены терминалами индикаторов. Для того, чтобы обработать введенную информацию и управлять параметрами и режимами работы частей лицевой панели, в контекстном меню блок-диаграммы находятся нужные константы, «функции (Functions)», «подприборы (SubVI)» и «структуры (Structures)», они имеют терминалы для вывода и ввода данных. Вышеперечисленные элементы будут «узлами (nodes)» блок-диаграммы, они соединяются с терминалами элементов управления и индикации, а также линиями между собой, которые называются «проводниками (wires)». В данной схеме сквозь узлы в период обработки идет поток данных «(data flow)», проходящий по линиям от входных терминалов к выходным. Узлы совершают алгоритмические шаги ВП и имеют одно или несколько полей ввода/вывода данных. Они построены также как операторы, функции и подпрограммы текстовых языков программирования. Иначе, данная технология построения виртуальных приборов является базовой для потоковой формы обработки данных, когда поток информации входит в узлы-источники и узлы обработки данных, а затем выходит через узлы - приемники информации. В таком режиме очередность обработки данных определяется полнотой подхода



данных к терминалам узлов. Такая структура работы программы в LabVIEW сильно облегчает, в сравнении с текстовыми языками, разработку многозадачных и многопоточных программ. Терминалы имеют вид прямоугольника и содержат буквенно-графическое обозначение, описывающее тип и форму отображения принимаемых ими данных. По внешнему виду терминала можно определить, какую функцию несет в себе этот блок (источник или приемник), какие типы данных он может воспринимать (числовые, логические или строковые). Об этом могут говорить различия в толщине внешней рамки терминала и направлении треугольной стрелки внутри него, цвет терминала и буквенное или графическое обозначение. Помимо этого, вид терминала можно определить по содержанию контекстного меню. [18]

На рабочем поле можно найти три вспомогательные палитры: палитры «Элементы управления (Controls Palette)», палитры «Функции (Functions Palette)» и палитры «Инструменты (Tools Palette)». Все вышеперечисленные палитры можно вывести на экран для постоянного (кнопка «закрепить») или временного отображения (нажатие правой кнопки мыши на рабочем поле), а также разместить в любом месте рабочего поля. Вывод для постоянного отображения осуществляется с помощью разделов меню «Вид (View)». При активном окне лицевой панели с помощью строки «Палитра элементов управления (Controls Palette)». На эту панель можно вывести палитру элементов, а при активном окне панели Блок-диаграммы на нее можно вывести палитру функций, пользуясь строкой «Палитра функций (Functions Palette)» этого же меню. Для вывода палитры инструментов необходимо использовать строку «Палитра инструментов (Tools Palette)» меню «Вид». [18]

В зависимости от источника сигнала, который далее будет подвержен программной обработке, существует несколько способов реализации осциллографа. Рассмотрим ниже один из них.

На прибор будет поступать цифровой сигнал. Для начала сгенерируем сигнал с использованием специальных блоков из панели функций, вкладки:

«Функции обработки сигналов (Signal Processing) → Waveform Generation (рисунок 19).

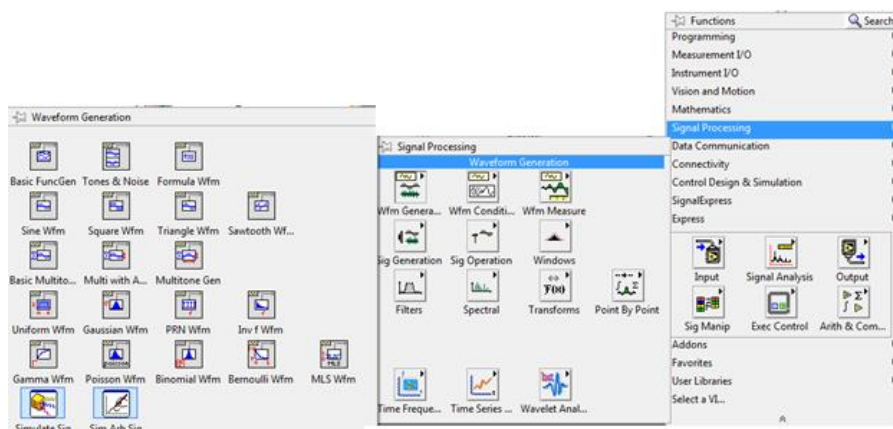


Рисунок 19 - Палитра выбора инструментов для создания виртуального прибора

На панели функций выбираем следующий блок для генерации тестового сигнала - «Генератор (Basic Function Generator)» (рисунок 20).

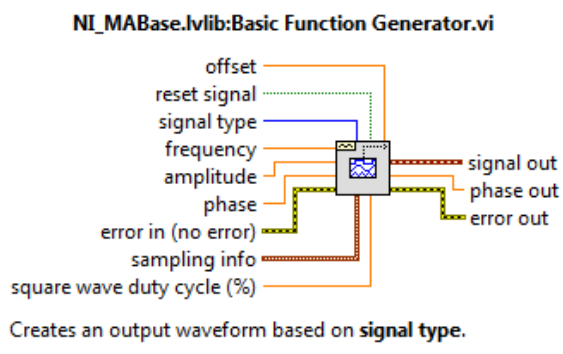


Рисунок 20 - Блок для реализации генерации сигналов.

Подробному рассмотрению подлежит блок «Генератор». Его структура показана на рисунке 21.

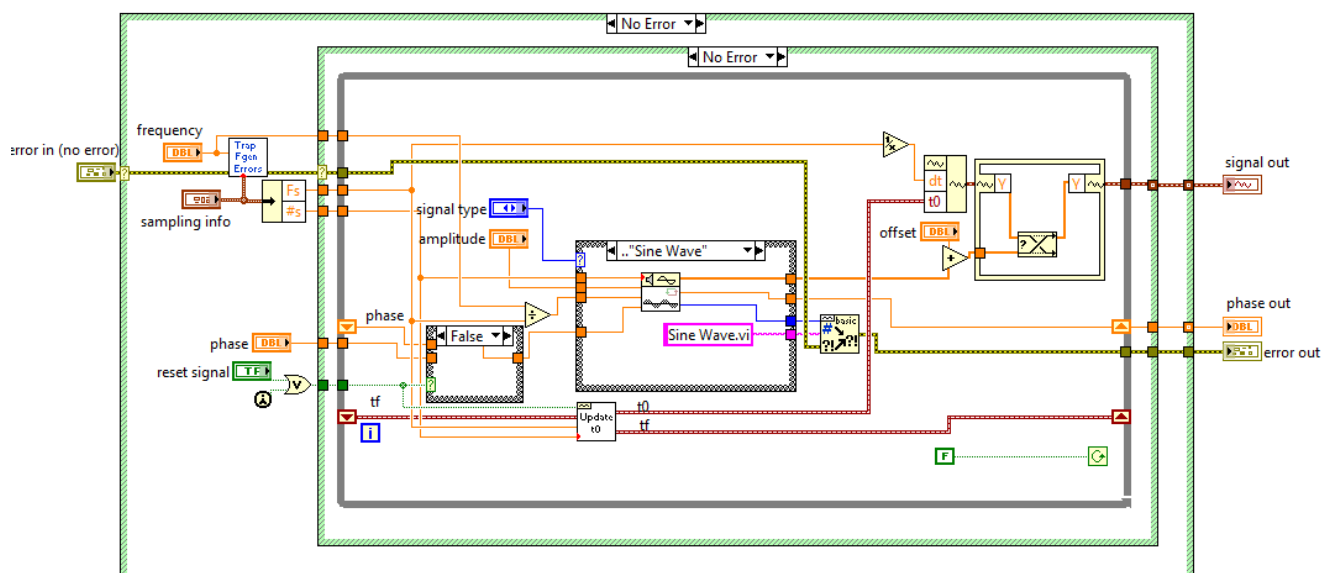


Рисунок 21 - Блок схема блока Генератор.

В основе блока генератор лежит Case Structure (структура ветвления), внутри которой заключены генераторы сигналов различных функций. Данная структура позволяет произвести выбор среди имеющихся форм сигнала: синусоидальный, треугольный, прямоугольный, пилообразный. Для того чтобы выбор мог быть произведен с лицевой панели, то есть пользователем, подключаем к блоку недостающие элементы, такие как: блоки управления с лицевой панели (форма сигнала, частота сигнала, амплитуда, скважность (для прямоугольной формы сигнала), частота дискретизации, шаг квантования); блок индикации - график осциллограммы (Waveform Graph).

«График осциллограммы (Waveform Graph)» – графический индикатор, который имитирует работу осциллографа. Он может принимать данные в виде массива чисел и отображать их с равномерным шагом в графическом режиме. Иконка блока «График осциллограммы» показана на рисунке 22.

В результате чего получен прибор следующего вида – рисунок 22.

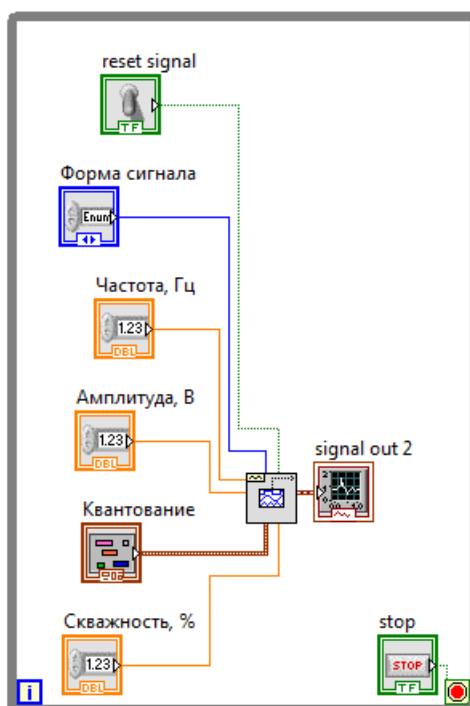


Рисунок 22 - Прибор осуществляющий генерацию тестовых сигналов.

Лицевая панель такого прибора выглядит следующим образом – рисунок 23.

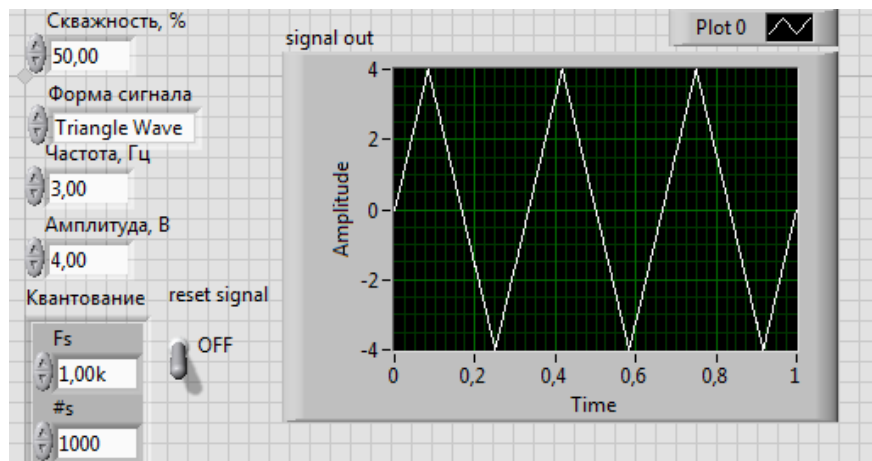


Рисунок 23 - Лицевая панель генератора тестовых сигналов.

Активными для пользователя являются кнопки управления. Параметры можно задать произвольно.

Далее с помощью блока «Получение компонентов осциллограммы (Get waveform Components)» (рисунок 24) выделяем необходимую информацию (дату, шаг по времени, массив элементов).

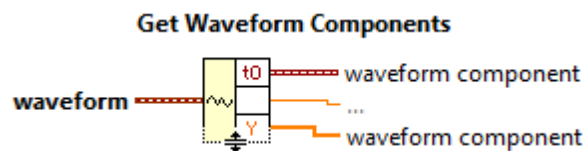


Рисунок 24 - Блок «Получение компонентов осциллограммы (Get waveform Components)»

Данная функция будет возвращать компоненты осциллограммы, которые определены пользователем. Дополнительные выходы и определение компонентов можно осуществить с помощью контекстного меню, выбрав те, которые необходимы. На вход подается массив данных «осциллограмма» (waveform) из которой и будут извлекаться компоненты. Выход  $t_0$  – это время (в соответствии с системными часами) получения первого значения из массива значений  $Y$ . Выход  $dt$  – будет представлять собой интервал времени между значениями полученного массива  $Y$ . Выход  $Y$  – это сам массив значений осциллограммы. При выборе выхода атрибуты (attributes) становится возможным передавать и выводить дополнительные данные.

Для добавления шума в тестовый сигнал можно воспользоваться блоком «Gaussian White Noise Waveform (Осциллограмма с гауссовским белым шумом)», показанным на рисунке 25.

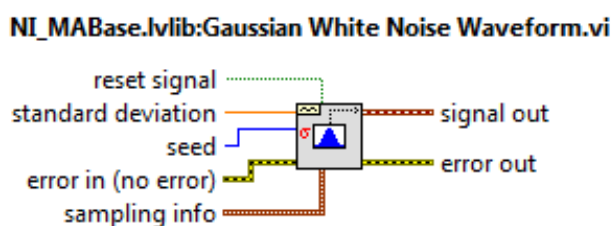


Рисунок 25 - «Gaussian White Noise Waveform (Осциллограмма с гауссовским белым шумом)»

К данному блоку также подсоединяются блоки управления (стандартное отклонение, информация о частоте выборки и частоте дискретизации), и блок индикации – сигнал. Таким образом получаем блок диаграмму и лицевую панель следующего вида (рисунки 26, 27)

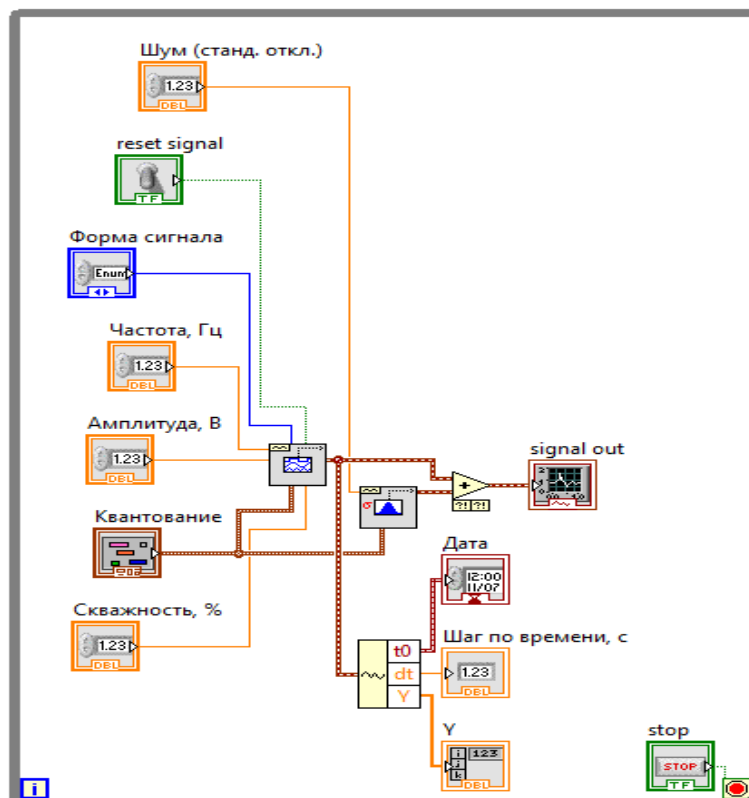


Рисунок 26 - Блок диаграмма генератора тестового сигнала.

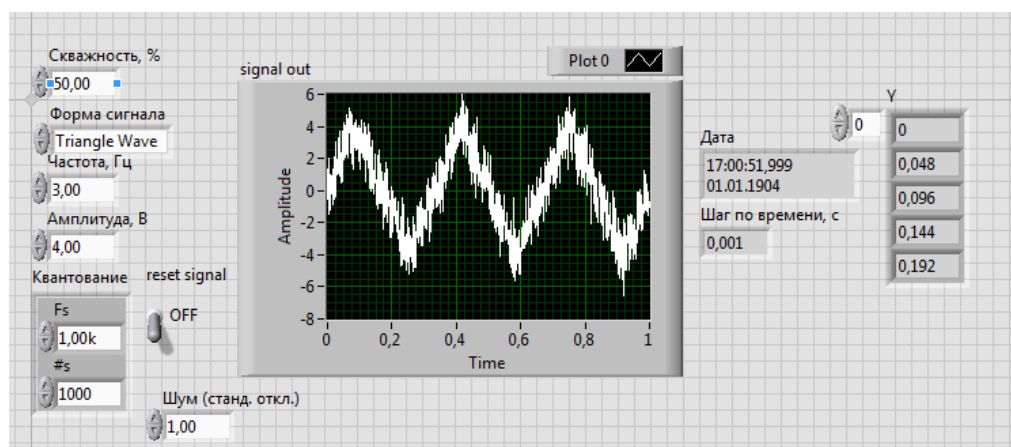
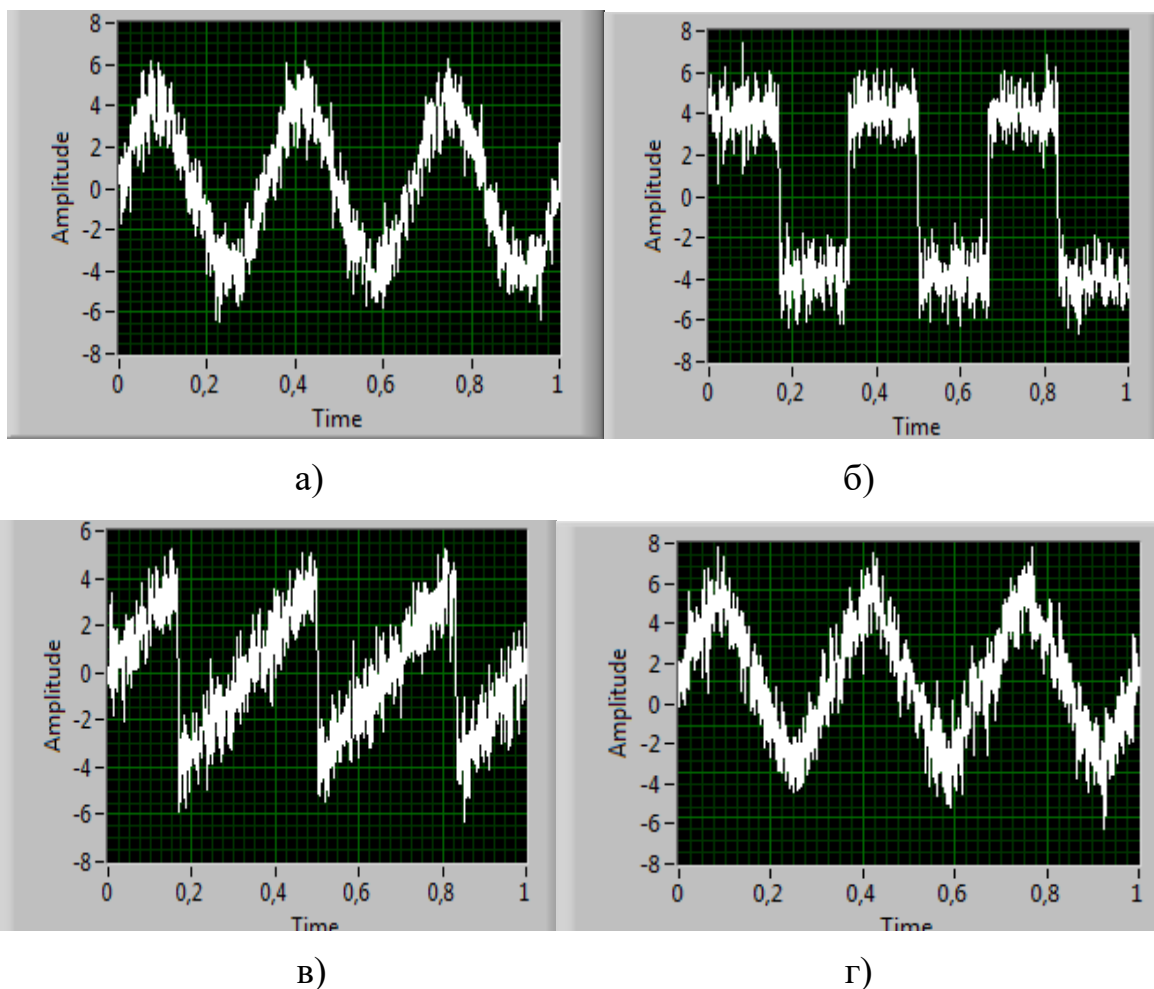


Рисунок 27 - Лицевая панель прибора - генератора тестовых сигналов.

На рисунке 28 показаны осциллограммы с применением изменений к параметрам сигнала.



а) синусоидальная, б) прямоугольная, в) пилообразная, г) треугольная формы сигналов.

Рисунок 28 - Осциллограммы

Индикатор «Дата» показывает неверное значение. Для того, чтобы запись была верной, а именно: выглядела как системное время компьютера, необходимо применить функцию Get Date → Time in Second из панели Time&Dialog и Build Waveform из панели Waveform, включая ее в разрыв проводника данного виртуального прибора – генератора тестовых сигналов.

### 3.4 Прибор для обработки аналогового сигнала

Далее будут рассмотрены решения, которые необходимы для обработки аналоговых сигналов и записи их на диск, а также возможности программы, для совместной работы с виртуальными приборами драйвера NI-DAQmx. В цифровой обработке сигналов существует множество преимуществ, для этого

прежде чем сигнал будет обработан компьютером, аналоговые сигналы должны быть преобразованы в цифровую форму. Цифровым сигналом будем называть сигнал, который принимает ограниченный ряд значений.

### **3.4.1 Устройство DAQmx**

Рассмотрим подробнее, что собой представляет DAQ-устройство. Данное устройство может дискретизировать сигналы, способно совершать цифроаналоговые преобразования для генерации сигналов аналогового вывода, а также воспринимать сигналы цифрового ввода и формировать сигналы цифрового вывода. Для обеспечения эффективного и точного измерения, сигналы с датчиков и измерительных преобразователей необходимо согласовать с измерительной системой. Устройства нормирования измеряемых сигналов реализуют такие функции, как усиление, деление, фильтрацию, гальваническую развязку, синхронную выборку и хранение и мультиплексирование. Помимо этого, для правильного и точного функционирования во многих измерительных преобразователях необходимы питающие токи или напряжения, схемы дополнения моста, линеаризации или усиления с большим коэффициентом усиления. Таким образом, большинство компьютерных измерительных систем вместе со встраиваемыми DAQ-устройствами содержат некоторые устройства нормирования сигналов. [20]

#### **3.4.1.1 Датчики и измерительные преобразователи**

Для измерения таких физических величин как температура, сила, уровень звука или сила света датчики формируют электрические сигналы. К наиболее часто используемым датчикам относятся тензодатчики, термопары, термисторы, датчики угловых или линейных перемещений, терморезисторы. Чтобы измерить сигналы, снимаемые с этих измерительных преобразователей, их нужно преобразовать в форму, доступную для восприятия DAQ-устройством. [20]



### **3.4.2 Основы работы с устройством DAQmx**

Работа плат ввода/вывода данных и стандартных интерфейсов в LabVIEW поддерживается функциями, которые входят в категории Контроль ввода/вывода (Measurement I/O), Связь с приборами (Instrument I/O) и Зрение и движение (Vision&Motion).

Первоначальным шагом для работы с встроенными платами и стандартными интерфейсами ввода/вывода данных после установки плат и драйверов являются их конфигурирование и тестирование с помощью программы Проводник измерений и автоматизации (Measurement and Automation Explorer (MAX)). MAX является программным интерфейсом Windows, обеспечивающим доступ ко всем платам NI. MAX. При запуске MAX открывается диалоговое окно, которое позволяет выбирать и устанавливать различные режимы функционирования плат и стандартных интерфейсов. В левом окне Конфигурация (Configuration) показываються разделы конфигурации локальной и удаленных систем. Перечень разделов включает Окружение данных (Data Neighborhood), Устройства и интерфейсы (Devices and Interfaces), Шкалы (Scales), Программное обеспечение (Software) и Драйверы IVI (IVIItDrivers). [20]

### **3.4.3 Функции сбора данных DAQmx**

ВП и функции сбора данных NI DAQmx относятся к следующему поколению драйверов NI DAQ. Основным элементом NI DAQmx является задача. Задача может быть создана как в программе MAX, так и в LabVIEW. В LabVIEW задача может быть создана несколькими способами. [20] Блоки для создания и управления задачами продемонстрированы на рисунке 29. Подробнее некоторые из блоков будет рассмотрен далее в работе.

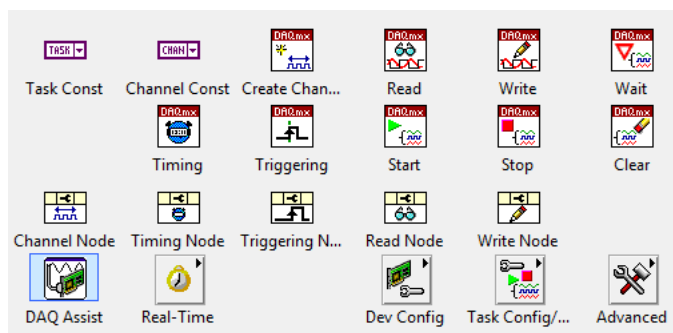


Рисунок 29 - Блоки, необходимые для управления виртуальным прибором, на базе DAQmx устройства

### 3.4.4 Осциллограф на базе DAQmx

Для создания виртуального прибора осциллографа, источником сигнала для которого будет устройство DAQmx, необходимо создать новый виртуальный прибор. На лицевой панели данного нового прибора должны присутствовать элементы, показанные на рисунке 30. Для того чтобы найти данные блоки управления и индикации, нужно щелкнуть правой кнопкой мыши на рабочем поле лицевой панели. Блоки для управления частотой выборок и количеством выборок на канал можно найти в подменю Classic→Numeric→Numeric Control. Блок индикации график можно обнаружить в разделе Express→Graph Indicators→Graph.

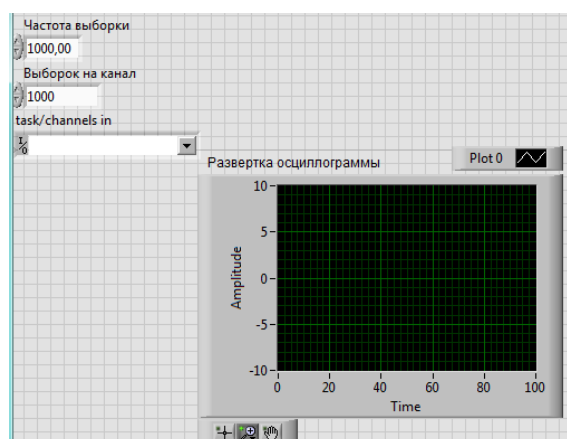


Рисунок 30 - Лицевая панель виртуального прибора

Далее необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши на поле Блок-диаграммы, тем самым вызвав палитру инструментов. Выбрав пункт Measurement I/O открывается подменю DAQmx Data Acquisition, которое содержит палитру инструментов для создания виртуального прибора (рисунок 31).

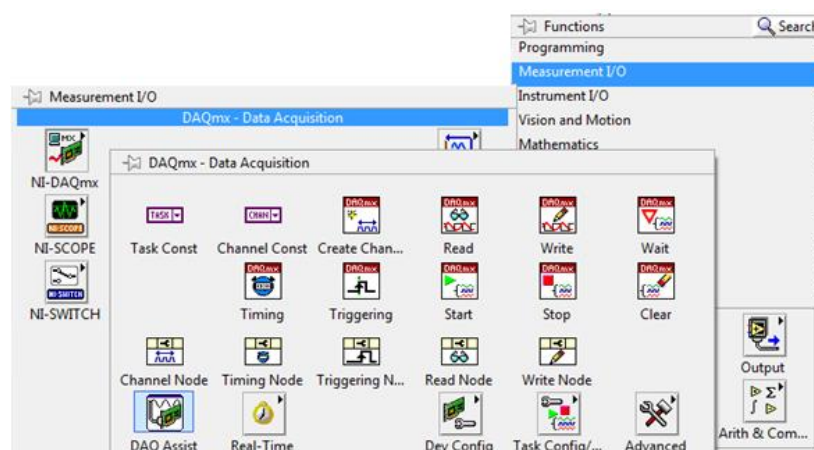


Рисунок 31 - Алгоритм действий для вызова подменю DAQmx Data Acquisition

Для начала выберем блок DAQmx Timig (синхронизация). С помощью данного блока можно выбрать число генерируемых или собираемых выборок, а также создать буфер, если это необходимо (рисунок 32).

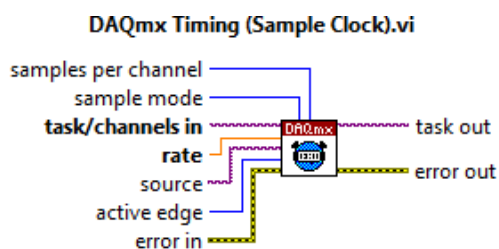


Рисунок 32 - Блок DAQmx Timig (синхронизация)

Далее подключается блок DAQmx Start Task (начать задачу). Данный блок переводит задачу в состояние выполнения для того чтобы начать измерения (рисунок 33).

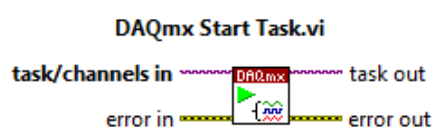


Рисунок 33 - Блок DAQmx Start Task (начать задачу)

Происходит считывание виртуальным прибор выборки из задачи или каналов, которые определены пользователем. Реализация такого полиморфного виртуального прибора предполагает возможности выбора формата возвращаемых выборок, выбора считывания единичной или совокупности выборок, а также выбора считывания из одного или многих каналов. Узел свойств Читать DAQmx (DAQmx Read) включает дополнительные опции конфигурации операций чтения. Данный блок в конкретном приборе будет служить для считывания выборок с активного канала (рисунок 34).

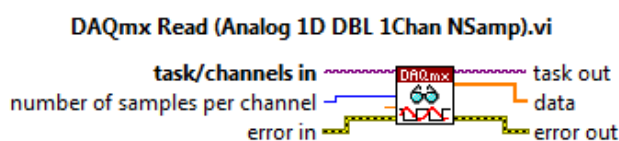


Рисунок 34 - Блок DAQmx Read (Чтение)

Следующий виртуальный прибор, который необходимо подключить, это DAQmx Stop. ВП останавливает задачу и возвращает ее к состоянию, в котором задача находилась перед использованием ВП (рисунок 34).

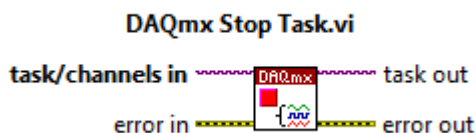


Рисунок 35 - Блок DAQmx Stop (Завершить задачу)

По завершении выполнения задачи ставится обработчик ошибок для того, чтобы сразу на любом этапе можно было проконтролировать их наличие и быстро устранить (рисунок 36).

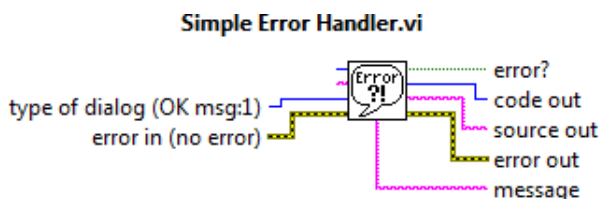


Рисунок 36 - Блок Simple Error Handler (Обработчик ошибок)

На данном этапе подключаем все блоки управления ко входам, на выбираем ограниченную выборку (Finite Samples), а также подключаем блок управления выбора канала (task/channels in). Собранный прибор продемонстрирован на рисунке 37.

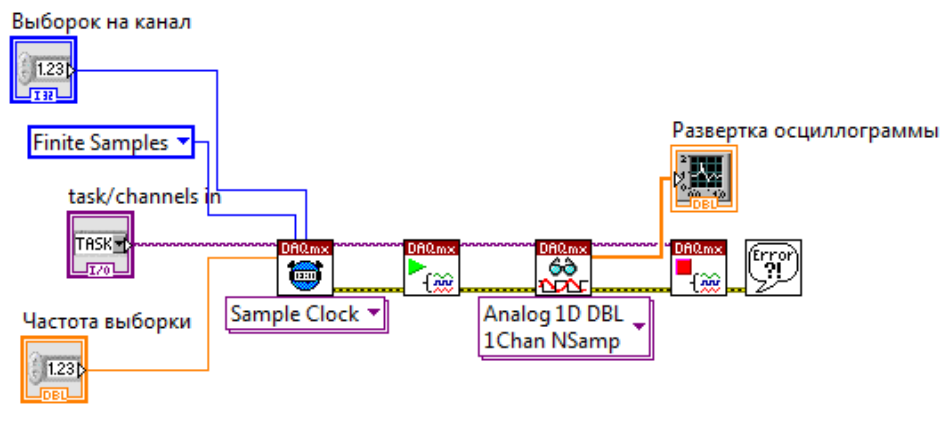


Рисунок 37 - Блок схема осциллографа для конечной выборки

Часть памяти, в которой хранятся данные после получения их из устройства называют буфером персонального компьютера. Данные ввода для number of samples per channel блока виртуального прибора DAQmx Timing задают размер буфера персонального компьютера, который будет хранить данные до тех пор, пока блок DAQmx Read не будет готов их считывать. Затем блок DAQmx Read отправляет информацию в буфер LabVIEW, который после может быть показан на лицевой панели. Буфер LabVIEW имеет возможность отправлять информацию на график осциллограммы или в массив, это будет зависеть от настроек блока DAQmx Read и способа подключения выходных терминалов блока DAQmx Read.

Далее рассмотрим блок-схему **непрерывного сбора данных**. Основным отличием буферизированного сбора конечного количества данных от непрерывного буферизированного сбора данных является количество необходимых точек. В первом случае будет получено конечное число точек. Во втором – появляется возможность собирать неограниченное количество данных. Блок-схемы прибора и алгоритма, демонстрирующие непрерывный буферизированный сбор данных, показаны на рисунках 38, 39 соответственно.

Первые три блока в схеме совпадают с блоками на схеме буферизированного сбора данных. Они будут отвечать за настройку устройства сбора данных – блок DAQmx Tunning, за запуск сбора данных – блок DAQmx Start Task и подготовку к считыванию данных - блок DAQmx Read. Поскольку идет непрерывный сбор данных - считывание необходимо проводить непрерывно. Для этого необходимо поместить ВП DAQmx Read в цикл. Цикл завершит выполнение, в случае возникновения ошибки, или при принудительной остановке с лицевой панели. В каждом выполнении цикла блок DAQmx Read будет возвращать данные. По окончании выполнения цикла, блок DAQmx Stop Task остановит задачу и тем самым высвободит ресурсы. Блок Simple Error Handler выведет на лицевую панель ошибку, возникшие в процессе работы виртуального прибора.

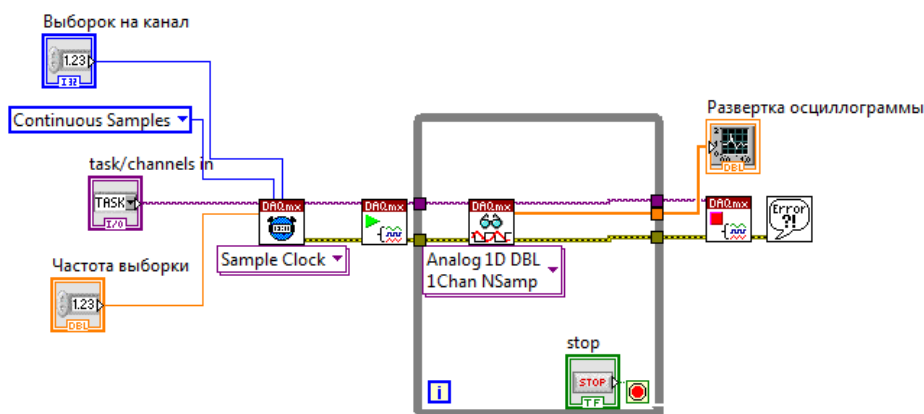


Рисунок 38 - Блок-схема, демонстрирующая непрерывный буферизированный сбор данных

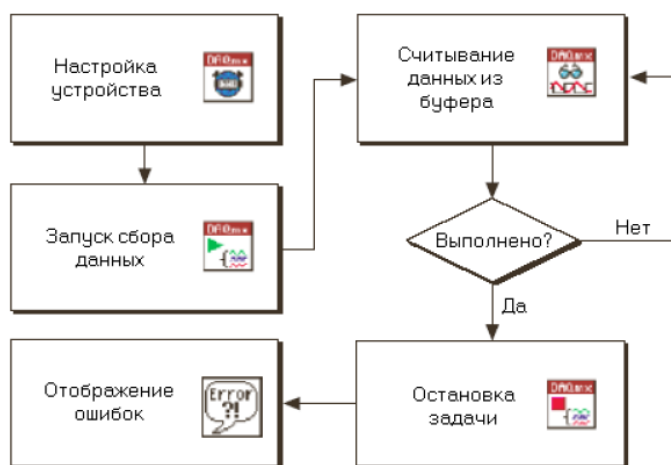


Рисунок 39 - Алгоритм непрерывного буферизированного сбора данных

Ввод числа выборок на канал определяет пользователь. В том случае, когда происходит сбор конечного числа данных блоки панели NI-DAQmx автоматически определяют количество выборок для чтения. Если оставить этот вход неподключенным или выставить значение равное -1, NI-DAQmx посчитают полное количество выборок, которые имеются в буфере. При подключении блока свойств отслеживается количество выборок, доступных для считывания, рисунок 40.

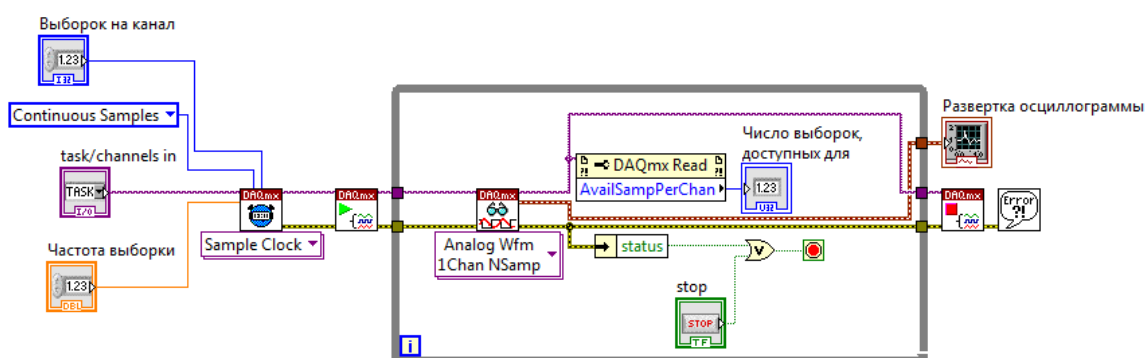


Рисунок 40 - Блок-схема, демонстрирующая непрерывный буферизированный сбор данных

Для правильной работы непрерывного буферизированного сбора данных, необходимо выполнить настройки блоков вручную, а не по умолчанию. В используемом вначале блоке Timing настраивается тактирование, определяется число выборок на канал для чтения (буфер), а также определяется частота сбора данных. Далее используется блок DAQmx Start, он запускает сбор данных. После чего, блок DAQmx Read, который помещен в цикл по условию, считывает данные из буфера.

Число выборок на канал для чтения (number of samples per channel to read) не должно быть равным размеру буфера или быть больше его (иначе – возможно переполнение буфера). Значение ввода number of samples per channel to read устанавливают равным одной четвертой или половине размера буфера при непрерывном сборе данных. Важно постоянно следить за числом доступных

выборок в буфере, чтобы быть уверенным, что буфер опустошается с достаточной скоростью.

Если же количество доступных выборок на канал будет постоянно возрастать, то есть вероятность того, что буфер переполнится, и возникнет ошибка. Цикл по условию, который содержит блок DAQmx Read, может быть завершен либо по требованию пользователя, нажатием кнопки на лицевой панели, либо при образовании ошибок в блоке DAQmx Read, таких как переполнение буфера. После остановки цикла блок DAQmx Stop Task остановит задачу и высвободит ресурсы, а блок Simple Error Handler отобразит все возникшие ошибки.

### 3.4.5 Циклический буфер

Процесс непрерывного буферизированного сбора данных достаточно сложен, поскольку компьютер пользуется одним буфером, а в процессе происходит получение большего количества данных, чем может вместить буфер. В таких случаях можно использовать кольцевой буфер. Следующий рисунок 41 иллюстрирует работу кольцевого (циклического) буфера.

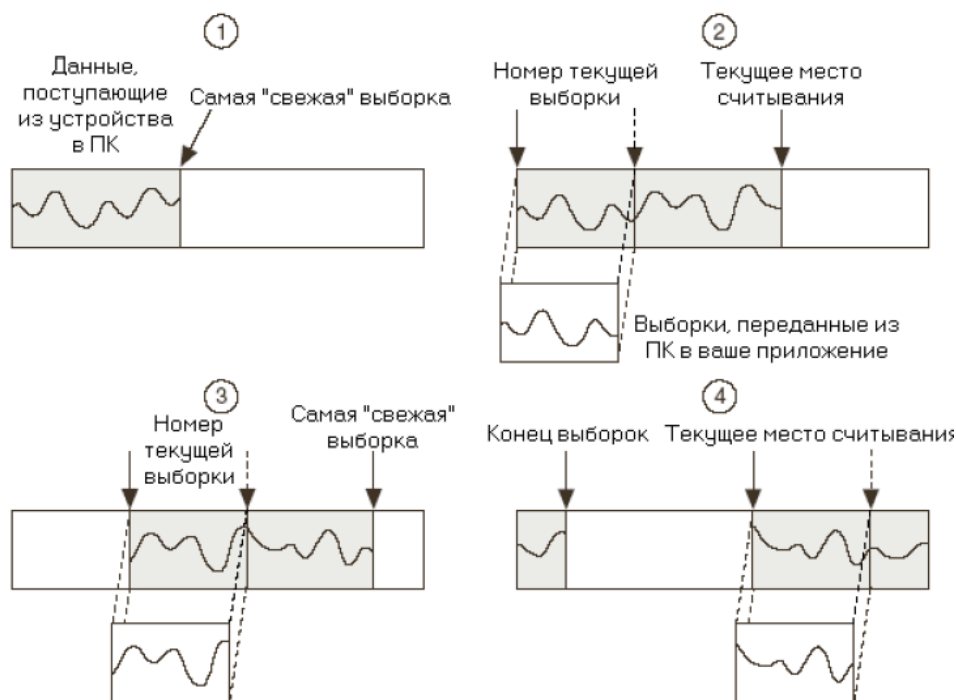


Рисунок 41 - Алгоритм работы циклического буфера



Циклический буфер имеет сходство с обычным, однако по завершению работы при достижении предела буфера, запуск начинается заново. Буфер персонального компьютера может быть инициализирован при задании значения на входе `samples per channel` (#выборки на канал) блока синхронизация (DAQmx Timing). Когда блок Старт задачи (DAQmx Start Task) начинает сбор данных, буфер компьютера в этот момент заполняется данными. Получение данных происходит в цикле по условию.

Если будет задано число выборок для чтения (`number of samples per channel to read`) равным значению между четвертью и половиной размера буфера, то когда число выборок на канал в буфере ПК станет равным количеству выборок для чтения, блок DAQmx Read переместит это число выборок из буфера ПК в буфер LabVIEW. Блок DAQmx Read установит метку - текущее положение выборки, для того чтобы в дальнейшем продолжать считывание с места, на котором оно было завершено. В этот момент, буфер компьютера продолжает заполняться данными, блок DAQmx Read продолжает передавать данные из буфера ПК в буфер LabVIEW. Когда метка конца данных достигает конца буфера компьютера, новые данные записываются в начале этого буфера. Разница между текущим положением выборки и меткой конца выборок равна числу доступных выборок на канал. LabVIEW должна считывать данные с достаточной скоростью, во избежание случая, когда отметка конца данных нагонит текущее положение выборки. В противном случае, новые данные запишутся поверх старых, и LabVIEW выдаст ошибку.

### **3.4.6 Ошибка наложения записей**

Наиболее распространенная ошибка, которая может появиться при буферизированном сборе данных, ошибка наложения записей. Данная ошибка может возникнуть, когда метка конца выборок нагонит текущее положение выборки, и данные будут вынуждены накладываться друг на друга. Это произойдет, если LabVIEW не будет с достаточной скоростью считывать данные

из буфера компьютера. Существуют некоторые способы, помогающие устранить такую ошибку, однако не каждый из них можно применять в конкретной ситуации.

Один из путей решения данной проблемы, является увеличение числа выборок на канал (т. е. размера буфера) в ВП DAQmx Timing. Данная мера может не снять проблему, если буфер не будет опустошаться с достаточной скоростью. Необходимо запомнить норму числа выборок на канал для считывания: от четверти до половины размера буфера. Если увеличение размера буфера приведет к выполнению указанного условия, то это исключит ошибку.

Другой путь решения проблемы, это опустошение буфера с более быстрой скоростью, путем увеличения числа выборок на канал для считывания. Не следует устанавливать это число большим, так как в данном случае возникнет задержка в блоке DAQmx Read до того момента, пока количество выборок в буфере не станет равным числу выборок для считывания. Время, потраченное на процесс ожидания заполнения буфера, могло быть использовано на опустошение буфера.

Еще один способ – это уменьшение частоты выборок на канал в блоке Синхронизация. Этот прием уменьшит скорость, с которой информация будет идти в буфер. Однако это не всегда представляется возможным, поскольку иногда требуется определенная частота дискретизации.

Также необходимо избегать замедления работы цикла из-за бесполезного анализа данных в нем.

### **3.4.7 Ошибка переполнения**

При непрерывном буферизированном сборе данных может возникнуть еще одна ошибка, которая вызывается переполнением FIFO (англ. first in, first out - «первым пришёл - первым ушёл») - способ организации и манипулирования данными относительно времени и приоритетов) буфера DAQ устройства. Распространена такая ошибка меньше, чем ошибка наложения записи, но ее

труднее устранить. Она возникает, в тот момент когда FIFO буфер не опустошается с достаточной скоростью. При передаче данных в буфер компьютера состояние FIFO буфера зависит или от DMA (англ. Direct memory access, прямой доступ к памяти, режим обмена данными между устройствами компьютера.) или от IRQ (запрос на прерывание (англ. Interrupt request, IRQ)), поэтому, когда FIFO буфер опустошается недостаточно быстро, есть всего лишь несколько способов предотвратить ошибку.

Также необходимо убедиться в том, что если DMA доступен, используется канал DMA для передачи данных. Прямой доступ к памяти (DMA) работает быстрее, чем запрос прерывания (IRQ), и это может привести к значительному улучшению быстродействия.

Одним из вероятных способов решения проблемы, может послужить уменьшение частоты выборки на канал в БП DAQmx Timing.

Приобретение устройства с более вместимым FIFO буфером - альтернативный способ разрешения вопроса.

Чтобы ускорить передачу данных из FIFO буфера в буфер компьютера можно приобрести компьютер с более быстрой шиной. Переполнение в данном случае обусловлено тем, что компьютер не забирает данные из устройства достаточно быстро. Таким образом, компьютер с более быстрой шиной может переносить данные из FIFO буфера быстрее.

Учитывая возможные ошибки наложения и переполнения, был создан прибор следующего вида (рисунки 42, 43).

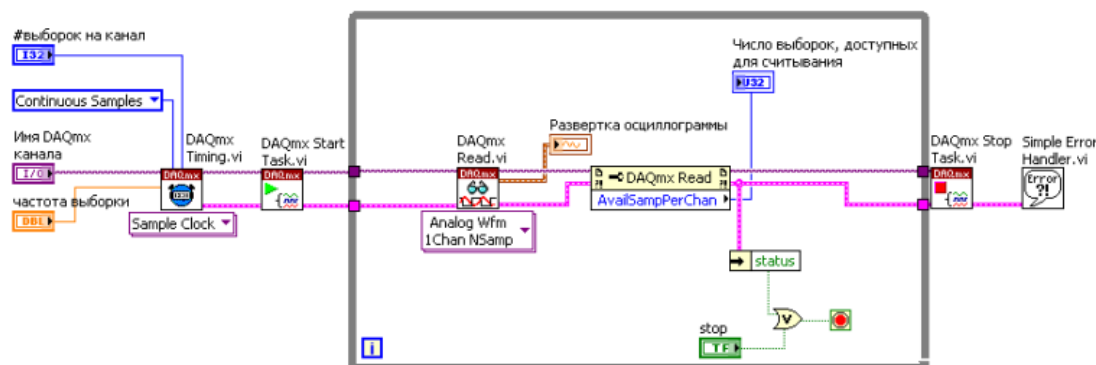


Рисунок 42 - Блок-диаграмма прибора осциллографа

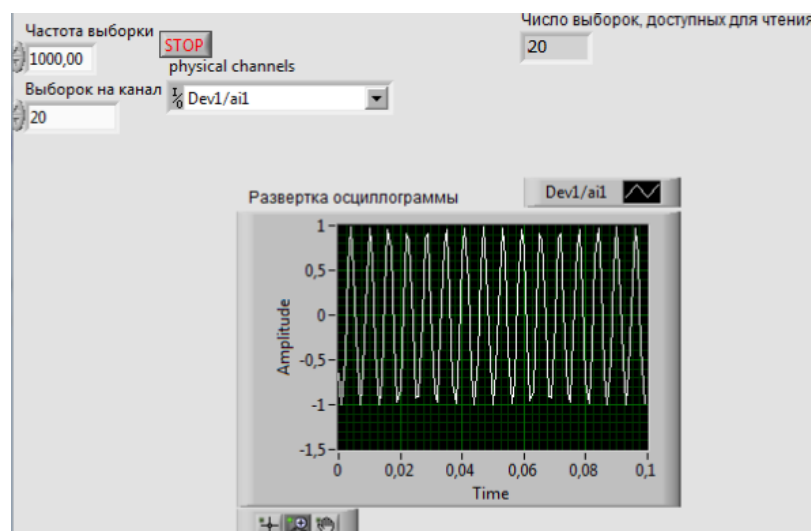


Рисунок 43 - Лицевая панель прибора, содержащего буфер

Узел свойств DAQmx Read Property Node, который расположен на панели Functions→All Functions→NI Measurements→DAQmx - Data Acquisition, используется для получения дополнительных данных о состоянии буфера. Далее необходимо вызвать контекстное меню узла и сделать выбор опции Properties→Status→Available Samples per Channel. Это свойство отследит количество непрочитанных выборок на канал в буфере.

Если переключиться на лицевую панель и запустить ВП, можно наблюдать за информацией, которую отобразит развертка. Данные заполнят буфер определенного размера в памяти, после чего переписут значения, заполняя буфер с начала.

### 3.5 Итоговый виртуальный прибор

#### 3.5.1 Объединение составляющих осциллографа

Далее необходимо объединить рассмотренные ранее составные части блок-диаграммы (генератор тестовых сигналов и кольцевой буфер данных) в одну, составные виртуальные подприборы - в один виртуальный прибор (рисунок 44).

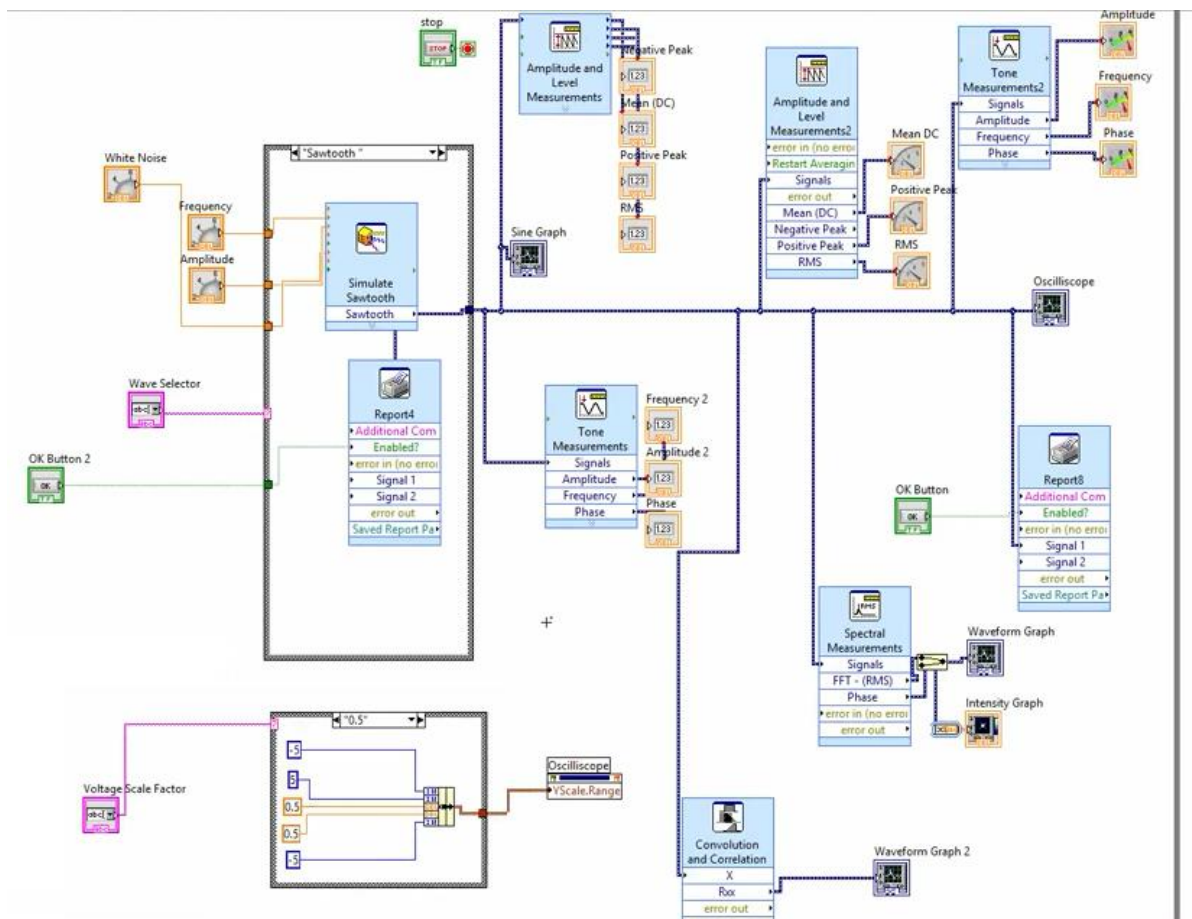


Рисунок 44 – Блок-диаграмма прибора программного осциллографа

На итоговой блок-диаграмме подприборы не отображаются целиком, базовые составные части скрыты для лучшего понимания работы алгоритма и упрощения поиска возможных ошибок. Чтобы увидеть из каких частей состоит основной прибор, необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши на вкладке View на поле блок диаграммы и во всплывающем контекстном меню выбрать пункт VI Hierarchy «Показать иерархию».

Также необходимо выстроить интерфейс прибора на лицевой панели (рисунок 45).

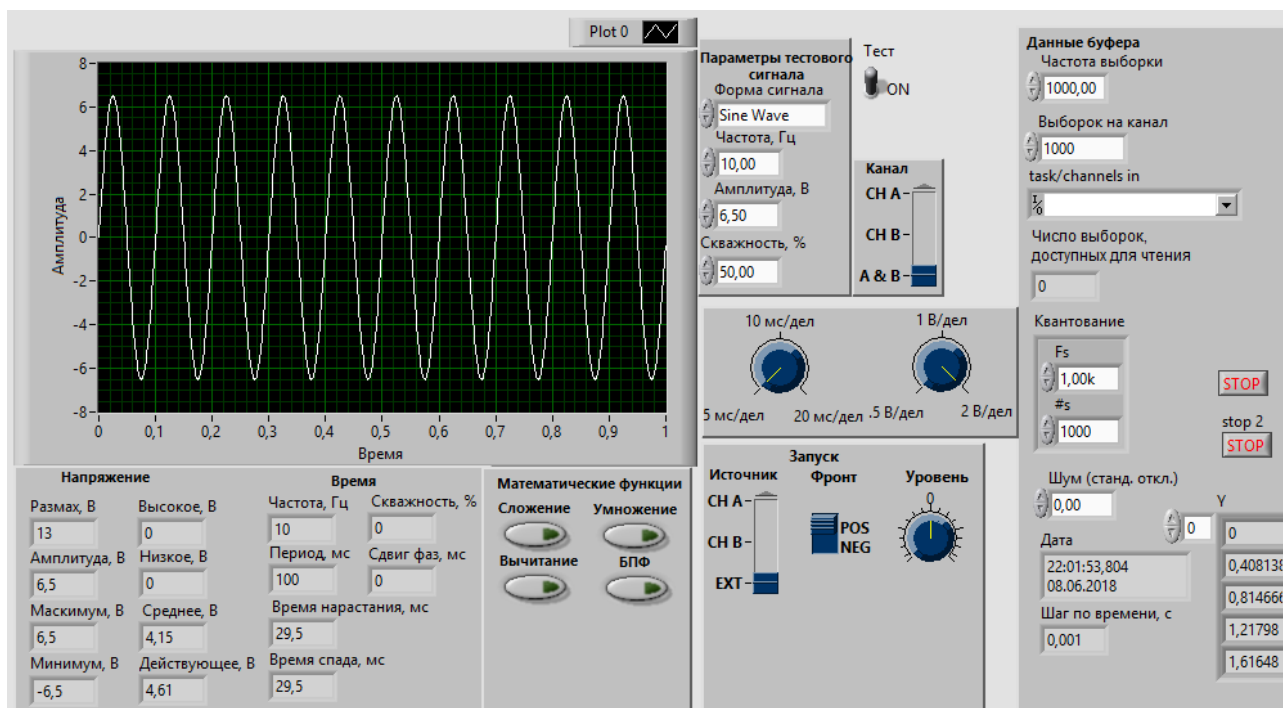


Рисунок 45 – Лицевая панель прибора программного осциллографа

### 3.5.1 Характеристики разработанного осциллографа

На лицевой панели прибора отражены функциональные возможности прибора, такие как: управление областью развертки, выбор источника сигнала, выбор отметки запуска. Регистрация текущих результатов измерений таких как: измерения амплитудных параметров (курсорные измерения, измерение амплитуды, измерение размаха, измерение максимального, минимального напряжения сигнала, измерение напряжения вершины и основания прямоугольного импульса, измерение среднего напряжения сигнала, измерение среднеквадратичного напряжения сигнала), измерения временных параметров (частота, курсорные измерения, период, время нарастания, спада, скважность, фаза). Существует возможность применения математических функций таких как: сложение, разность и произведение сигналов Источника А и Источника В.

Характеристики полученного виртуального прибора – программного цифрового осциллографа, ограничены техническими характеристиками аппаратной составляющей – характеристиками устройства сбора данных NI

DAQmx. В таблице 9 представлены технические характеристики разработанного осциллографа.

Таблица 9 – Технические характеристики разработанного осциллографа

Характеристика	Значение
Диапазон установки коэффициента отклонения для каждого из каналов	от 50 мВ/дел до 2 В/дел
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, кГц	700
Число разрядов АЦП	16 бит
Входной импеданс:	$R_{вх} = 10 \text{ ГОм}$ ; $C_{вх} = 100 \text{ пФ}$
Объем выборки	4095 отсчетов

Таким образом, выполнены задачи работы, достигнута её цель. Выявлена необходимость создания виртуального прибора, на основе сравнительной характеристики аппаратного и существующего программного приборов, активно применяемых в учебных дисциплинах на лабораторных занятиях в ТПУ. Разработан алгоритм прибора цифрового программного осциллографа, обладающего функциями современных аппаратных осциллографов. Алгоритм реализован в среде разработки LabVIEW с использованием аппаратной части устройства сбора данных DAQmx.

## **4 Финансовый менеджмент**

### **4.1 Предпроектный анализ**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для того чтобы определить потенциальных потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком программной разработки – цифрового осциллографа, являются научно-исследовательские институты (НИИ) и учреждения, занимающиеся проведением измерений электрических сигналов, а также их обработкой и анализом, исследования позволяют определять необходимые параметры измерительного сигнала.

Разработка будет использоваться в прикладных, лабораторных и научно-исследовательских целях, для контроля, изучения и измерения параметров электрических сигналов - как непосредственно, так и получаемых при воздействии различных устройств на датчики, преобразующие эти воздействия в электрический сигнал или радиоволны. Особенно важным элементом осциллограф стал в электромеханических сферах производства, в разного рода электрической и радиотехнике, где необходима точная система диагностики и исследования всех колебаний электрического тока.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Конкурентами данной разработки могут выступить: осциллографы компании АКТАКОМ модели АСК-3105 ( $K_1$ ), данный осциллограф работает на базе персонального компьютера и АСК-2032 ( $K_2$ ),



осциллограф, присутствующий в лаборатории ТПУ. Произведенные сравнения продемонстрированы в таблице 10 ниже.

Таблица 10- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3. Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Энергоэкономичность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
6. Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	1,16	0,16
8. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>62</b>	<b>52</b>	<b>46</b>	<b>4,84</b>	<b>3,81</b>	<b>3,44</b>
К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; В <sub>і</sub> – вес показателя (в долях единицы); В <sub>і</sub> – балл і-го показателя.							

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 4,84, в то время как двух других аналогов 3,81 и 3,44 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, энергоэкономичность, цена.

#### 4.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Далее в таблице 11 рассмотрен первый шаг для SWOT-анализа – описание сильных и слабых сторон, а также рассмотрение возможностей и угроз.

Таблица 11 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Простота применения С2. Экономия времени. С3. Высокая конкурентоспособность С4. Высокая квалификация сотрудников	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Необходимость проведения дополнительных исследований Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения дополнительных испытаний Сл4. Отсутствие бюджетного финансирования.

<b>Возможности:</b> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Работа с перспективными сегментами рынка В3. Повышение стоимости конкурентных разработок		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Появление наиболее перспективных разработок У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа, который состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Результаты представлены в таблицах 12, 13, 14, 15 ниже.

Таблица 12 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	-	+
	B2	+	+	-	+
	B3	-	+	+	0

B1B2C1C2C4; B3C2C3.

Таблица 13 - Интерактивная матрица проекта. Сильные стороны и угрозы проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	+	+	-	+
	У2	+	+	-	+
	У3	-	-	0	0

У1У2С1С2С4.

Таблица 14 - Интерактивная матрица проекта. Слабые стороны и возможности проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	+	+	-	-
	В2	+	+	-	-
	В3	0	+	+	+

В1В2Сл1Сл2; В3Сл2Сл3Сл4

Таблица 15 - Интерактивная матрица проекта. Слабые стороны и угрозы проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	-	-	+
	У2	+	+	+	-
	У3	-	-	-	0

У1Сл1Сл4; У2Сл1Сл2Сл3.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской работе в таблице 16.

Таблица 16 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Простота применения С2. Экономия времени. С3. Высокая конкурентоспособность С4. Высокая квалификация сотрудников	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Необходимость проведения дополнительных исследований Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения дополнительных испытаний Сл4. Отсутствие бюджетного финансирования.
<b>Возможности:</b> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Работа с перспективными сегментами рынка В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	Адекватность разработки может вызвать спрос на нее, а это в свою очередь повлечет увеличение количества спонсоров (В1В2С1С2С4). Помимо этого, унифицированность и адекватность разработки может уменьшить конкурентоспособность других разработок (В3С2С3).	Инновационные инфраструктуры ТПУ могут оказать помощь в финансировании проекта, а также могут позволят снизить финансирование научной разработки к минимуму (В1В2Сл1Сл2). Помехой для повышения стоимости конкурентных разработок могут послужить отсутствие необходимого оборудования для проведения дополнительных испытаний (В3Сл2Сл3Сл4).

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Появление наиболее перспективных разработок У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Поскольку в данной разработке используется более новая информация наряду со старой, это может повысить спрос и конкурентоспособность разработки (У1У2С1С2С4).	Конкретизация только на одном сегменте рынка и отсутствии необходимых инструментов для реализации проекта (У2Сл1Сл2Сл3). Отсутствие прототипа научной разработки говорит об отсутствии спроса на новые технологии и отсутствии конкуренции проекта (У1Сл1Сл4).
---	---	---

## 4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

### 4.2.1. Цели и результат проекта.

В данном разделе приведена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Ниже представлена таблица 17 с данной информацией.

Таблица 17 Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка программного цифрового осциллографа.
Ожидаемые результаты проекта:	Функциональные возможности разработанного прибора не уступают по качеству существующим аппаратным приборам.
Критерии приемки результата проекта:	Считывание сигнала с программного генератора функций и с аппаратного датчика, отображение сигнала на экране компьютера.
Требование к результату проекта:	Правильность отображения подаваемой на вход функции на экране осциллографа.

#### 4.2.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в табличной форме (таблица 18).

Таблица 18 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Заревич А.И., ТПУ ИШИТР, доцент	Руководитель проекта	Контроль за качеством работы исполнителя, консультирование по научно-техническим вопросам
2	Сальникова Т.В., ТПУ ИШИТР, студент	Исполнитель по проекту	Разработка алгоритма программы, создание программы на LabVIEW

Руководитель проекта – отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта. Эту роль выполняет руководитель магистерской диссертации. Исполнитель по проекту – специалист, выполняющий отдельные работы по проекту. В случае, если магистерская работа является законченным научным исследованием – исполнителем проекта является магистрант.

#### 4.2.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы

проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Они рассмотрены в таблице 19.

Таблица 19 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	338453 рублей
Источник финансирования	ТПУ
Сроки проекта:	01.02.18-10.06.18
Дата утверждения плана управления проектом	01.02.18
Дата завершения проекта	10.06.18

### 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят в данном случае научный руководитель и студент. Составленный перечень этапов, работ и распределение исполнителей приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Утверждение темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности и новизны темы проекта	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение теоретического материала по теме	Студент
	4	Определение направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретическое исследование	6	Обзор литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Анализ используемых средств и методов	
	9	Систематизация и оформление информации	
Анализ полученных результатов	10	Обработка результатов	Научный руководитель, студент
	11	Заключение	Научный руководитель, студент



#### 4.4 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы.

##### Определение трудоемкости выполнения работ

Чтобы произвести расчет затрат на оплату труда на этапе проектирования, необходимо определить продолжительность каждой работы, начиная с составления технического задания (ТЗ) и до оформления документации включительно). Продолжительность работ ( $t_{ож}$ ) определяется либо по нормативам для каждого исполнителя в отдельности, либо расчетом с помощью экспертных оценок по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (4.3)$$

где  $t_{min}$  - минимальная трудоемкость работ, человек-дни;

$t_{max}$  - максимальная трудоемкость работ, человек-дни.

Для расчета заработной платы основных исполнителей проекта необходимо ожидаемое время перевести в рабочее по формуле:

$$t_{раб} = t_{ож} \cdot K_d, \quad (4.4)$$

где  $K_d$  - коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ( $K_d=1,2$ ).

Данные расчеты приведены в таблице 21.

Таблица 21 – График проведения научного исследования

## Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ожг}$ , чел-дни			
Составление и утверждение темы проекта	1	3	1,8	Науч. рук., студент.	0,9	3
Выдача задания по тематике проекта	2	1	1,6	Науч. рук., студент	0,8	1
Постановка задачи	2,2	4	2,92	Науч. рук., студент	1,46	2
Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	3,4	4,2	3,72	Студент	3,72	6
Подбор литературы по тематике работы	7	12	9	Студент	9	13
Сбор материалов	14	23	17,6	Студент	17,6	26
Проведение теоретических обоснований	10	12	10,8	Студент	10,8	16
Проведение теоретических расчетов	10	14	11,6	Студент	11,6	17
Анализ полученных результатов	5	6	5,4	Науч. рук., студент	2,7	8
Согласование полученных данных с науч. рук.	1	3	1,8	Науч. рук., студент	0,9	1
Оценка эффективности полученных результатов	3	4	3,4	Студент	3,4	5
Работа над выводами	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Составление пояснительной записки к работе	8	9	8,4	Науч. рук., студент	4,2	12
Итого	68,6	100	81	Науч. рук., студент	70,2	115

Таблица 22  
Календарный план-график проведения научного исследования

№	Вид работ	Исполнители		Т <sub>кi</sub>	Продолжительность выполнения работ, декады												
					февраль			март			апрель			май			Июнь
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение темы	Руководитель	4	<div></div>													
2	Выдача задания по тематике проекта	Студент	2	<div></div>													
3	Постановка задачи	Студент	3	<div></div>													
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Руководитель, Студент	6		<div></div>												
5	Подбор литературы по тематике работы	Студент	15		<div></div>												
6	Сбор материалов	Студент	29				<div></div>										
7	Проведение теоретических	Студент	17						<div></div>								
8	Проведение теоретических расчетов	Студент	20							<div></div>							
9	Анализ полученных результатов	Руководитель, Студент	11									<div></div>					
10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Руководитель, Студент	2										<div></div>				
11	Оценка эффективности полученных	Студент	6											<div></div>			
12	Работа над выводами	Студент	6												<div></div>		
13	Составление пояснительной записки к работе	Руководитель, Студент	12													<div></div>	

На основе таблицы 21 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 22 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

## 4.5 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования (НТИ) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

### 4.5.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

– приобретаемые со стороны материалы, необходимые для создания научно-технической разработки

Материалы необходимые для данной разработки представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. с НДС, руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Тетрадь	шт.	3	15	54
Ручка	шт.	4	10	48
Карандаш	шт.	1	7	8,4
Картридж для принтера	мл	100	4	480
Бумага	листов	500	0,6	360
Итого				950, 4

#### 4.5.2 Расчет заработной платы основных исполнителей проекта

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$ЗП_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot СЗП, \quad (4.5)$$

где  $n$  - количество участников в  $i$ -ой работе,

$T_i$  - затраты труда (трудоемкость), необходимые для выполнения  $i$ -го вида работ, (дни).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад с учетом районного коэффициента (рубли)	Среднедневная заработная плата (рубли/дни)	Трудоемкость, рабочие дни	Основная заработная плата (рубли)
1.Руководитель	43737,2	1457,906667	39	56858,36001
2. Студент	12335,7	411,19	106	43586,14
3. ИТОГО	56072,9	1869,097	145	100444,5

#### 4.5.3 Затраты по дополнительной заработной плате

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{дон}} = (1 + k_{\text{дон}}) \cdot ЗП_{\text{осн}}, \quad (4.6)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12).

Дополнительная заработная плата студента составляет  $Z_{\text{доп}}=48985$  рублей, а руководителя составляет  $Z_{\text{доп}}=13815$  рублей.

#### 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), Пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (федеральным (ФФОМС) и территориальным (ТФОМС)) от затрат на оплату труда работников, объединенные в форме единого социального платежа.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{страх.вып.}} = (1 + k_{\text{соц.}}) \cdot (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}). \quad (4.7)$$

где  $k_{\text{соц.}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, принятый равным 30 % для учреждений, осуществляющих научную деятельность.

Величина отчислений во внебюджетные фонды студента  $Z_{\text{страх.вып.}}=33997$  руб., а руководителя  $Z_{\text{страх.вып.}}=120539$  руб.

#### 4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.9)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. В экономической части при определении величины коэффициента накладных расходов можно ориентироваться на значения 16 %.

Накладные расходы студента составили  $Z_{накл.} = 14309,41$ . Руководителя:  $Z_{накл.} = 50\,734,58$  рублей.

Рассчитанная величина себестоимости разработки является основой для обоснования ее цены, которая при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела цены на научно-техническую продукцию [10].

Расчет цены разработки приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет цены разработки

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	56072	Пункт 4.5.1
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	62801	Пункт 4.5.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	154536	Пункт 4.5.3
4. Накладные расходы	65044	16 % от суммы статей 1-5
5. Себестоимость НИР	338453	Сумма статей 1- 6

Таким образом, себестоимость разработки составляет 338453 рублей.

#### 4.7 Определение эффективности исследования

Разработанный осциллограф является экономически эффективным, поскольку нет необходимости в покупке аппаратного осциллографа. Программный осциллограф разработанный на базе LabVIEW может включать в себя почти все функции современных осциллографов. С интерфейсом прибора может разобраться программист, в результате чего теряется необходимость в инженере, который бы налаживал аппаратную часть прибора. Данная разработка открыта для модификаций, так как используется понятный алгоритм. Чтобы получить новую функцию в осциллографе не требуется покупка нового, а есть

возможность доработать имеющийся. Таким образом, очевидна экономическая выгода.

#### **4.8 Выводы в заключение основной части**

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, проведена оценка возможных угроз и возможностей проекта. Было установлено, что разработка программного осциллографа с использованием программного пакета LabView имеет некоторые преимущества, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технологических процессов.

- в результате сравнения конкурентных технических решений, было выявлено, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет ряд преимуществ.

- был проведен расчет цены разработки, который составил 338453 рублей. Таким образом, это позволило оценить первоначальный бюджет затрат на реализацию научно-технического проекта.

Таким образом, можно сделать вывод, что выполнение научно-исследовательских работ оценивается уровнями достижения экономического, научного, научно-технического и социального эффектов. Внедрение данной разработки, позволит увеличить эффективность производства, с ресурсосберегающей стороны, поскольку произойдет удешевление приобретаемого оборудования для исследований.



## **5 Социальная ответственность**

Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером, установленном на нем необходимым программным обеспечением, терминальной коробки, кабеля и устройства сбора данных. Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении.

Обработка полученной информации с прибора и её визуализация производится на компьютере, состоящем из системного блока и монитора, поэтому выполняемые работы сводятся к взаимодействию с персональным компьютером. Работа с компьютером вызывает значительное умственное напряжение и нагрузку пользователя, высокую напряженность зрительной работы и является причиной достаточно ощутимой нагрузки на мышцы рук при длительной работе с мышью и клавиатурой. Для оптимального поддержания рабочей позы пользователя необходимо рациональное расположение требуемых элементов и рациональная конструкция рабочего места. Также при работе с компьютером необходимо рационально распределять время на работу и отдых.

В данном разделе рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающие при работе с компьютером. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда сотрудников и улучшить условия работы в лаборатории.

### **5.1 Производственная безопасность**

В условиях производства выделяются следующие вредные и опасные факторы, они приведены в таблице 26.

**Таблица 26 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке исправности функционирования аналитического оборудования**

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Пусконаладочные работы:</p> <p>1) подготовка оборудования к работе</p> <p>2) включение элементов питания</p> <p>3) запуск компьютера и устройства сбора данных</p> <p>4) работа на компьютере и устройстве</p>	<p>отклонение показателей микроклимата;</p> <p>повышенный уровень шума на рабочем месте;</p> <p>повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>повышенный уровень вибрации.</p> <p>нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.</p>	<p>Электробезопасность:</p> <p>короткое замыкание;</p> <p>статическое электричество;</p> <p>Поражение электрическим током</p>	<p>параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96;</p> <p>параметры уровня электромагнитных излучений устанавливаются СанПиН 2.2.4-055-96;</p> <p>параметры освещенности устанавливаются СанПиН 2.1.1.1278-03;</p> <p>параметры уровня шума устанавливаются СанПин 2.2.4566-96;</p> <p>Пожарная безопасность устанавливается СНиП 21 – 01 – 97.</p>

Далее более подробно изучаются выявленные вредные и опасные факторы.

### **5.1.1 Анализ вредных факторов**

#### **5.1.1.1 Отклонение показателей микроклимата**

К параметрам микроклимата относятся: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Оптимальные значения этих характеристик зависят от сезона (холодный, тёплый), а также от категории физической тяжести работы. Для инженера-метролога она является лёгкой (1а), так как работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок.

Согласно требованиям, оптимальные и допустимые параметры микроклимата в офисах приведены в таблице 28 и таблице 29 [21].

Таблица 28 – Оптимальные значения характеристик микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	22-26	40-60	0,1

Таблица 29 – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Теплый	21,0-22,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,2
Холодный	20,0-21,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,1

Для создания благоприятных условий труда и повышения производительности, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата производственных помещений. Для этого должны быть предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование. Поскольку в помещении имеется центральное отопление и искусственная вентиляция, можно сделать вывод, что помещение соответствует нормам.

#### 5.1.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Одной из важных характеристик производственных помещений является уровень шума.

Основными источниками шума в помещении являются:

- система охлаждения центральных процессоров;

– жесткие диски.

При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, приведены в таблице 30 [22].

Таблица 30 – Допустимые уровни звука на рабочем месте

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	1,5	3	25	50	100	200	400	800	1600	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	6	1	1	4	9	5	2	0	8	50

Для снижения уровня шума, производимого персональными компьютерами рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применяются звукопоглощающие материалы. Для снижения уровня шума с улицы рекомендуется установка герметичных стеклопакетов, а также посадка зеленых насаждений на прилегающей территории.

На территории имеются зеленые насаждения, в помещении установлены пластиковые стеклопакеты, системные блоки компьютеров периодически подвергаются чистке. Таким образом, помещение соответствует нормам.

### 5.1.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

При работе с компьютером пользователь находится в непосредственной близости к монитору, что вызывает воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Вредное влияние переменных магнитных полей должно быть учтено при организации рабочего места с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ).

Когда на человека воздействуют поля, напряженность которых выше допустимой нормы, то возникают нарушения нервной, сердечно-сосудистой системы и некоторых биологических показателей крови [22].

Работа проводилась на современном компьютере, где значения электромагнитного излучения малы и отвечают требованиям, которые приведены в таблице 31

Таблица 31 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах [23]

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора находится на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз, что соответствует нормам.

#### 5.1.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Около 80% общего объема информации человек получает через зрительный канал. Качество поступающей информации во многом зависит от освещения, неудовлетворительное качество которого вызывает утомление организма в целом. При неудовлетворительном освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых метрологом ошибок.

Так как работа инженера-метролога подразумевает зрительный тип работы, то организация правильного освещения имеет значительное место.

Пренебрежение данным фактором может привести к профессиональным болезням зрения.

В рабочем помещении необходимо естественное освещение (через окна) и искусственное освещение (использование ламп при недостатке естественного освещения).

Светильники в помещении должны располагаться равномерно по площади потолка, тем самым обеспечивая равномерное освещение рабочих мест.

Разряд зрительных работ инженера-метролога относится к разряду III подразряду г (высокой точности), параметры искусственного освещения указаны в таблице 32. [24]

Таблица 32 – Нормативные значения освещённости

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещённость, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						Всего	В том числе от общего	
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	г	Средний и большой <<	Светлый << средний	400	200	200

Для расчёта общего равномерного освещения горизонтальной рабочей поверхности используют метод светового потока, учитывающий световой поток, отражённый от потолка и стен.

Расчётный световой поток, лм, группы светильников с люминесцентными лампами рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{л.расч} = E_n \cdot S \cdot Z \cdot K / N \cdot \eta;$$

где  $E_n$  – нормированная минимальная освещённость, лк;  $S$  – площадь аудитории ( $45\text{ м}^2$ );  $Z$  – коэффициент минимальной освещённости;  $Z = E_{сп} / E_{мин}$ , для ЛЛ  $Z = 1,1$ ;  $K$  – коэффициент запаса (зависит от характеристики помещения – с малым

выделением тепла  $K = 1,5$ );  $N$  – число светильников;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока ламп.

$$\Phi_{л.расч} = (300 \cdot 45 \cdot 1,1 \cdot 1,5) / (3 \cdot 0,34) = 20435,7 \text{ лм.}$$

Для расчета освещенности необходимо величину светового потока поделить на освещаемую площадь. Таким образом, освещенность аудитории составляет 454,13 лк, следовательно помещение соответствует нормам показателей освещенности.

#### **5.1.1.5 Повышенный уровень вибрации**

Вибрация неблагоприятно воздействует на человека. Причиной возбуждения вибраций их источником в нашем случае является работа ПЭВМ. Исследователь испытывает общую технологическую вибрацию, так как она передается на него через опорные поверхности тела и возникает при работе на компьютере. Производственная вибрация, имеющая значительную амплитуду и продолжительность действия, передаваясь здоровым тканям и органам, оказывает вредное влияние, прежде всего, вызывая нейротрофические и гемодинамические нарушения. Изменяется вибрационная, температурная и болевая чувствительность кожи. Общая вибрация вызывает сотрясение всего организма. Общая вибрация с частотой менее 0,7 Гц не приводит к вибрационной болезни.

Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6 – 9 Гц. Колебания рабочих мест с указанными частотами весьма опасны, так как могут вызвать механическое повреждение или даже разрыв этих органов. Длительное воздействие интенсивной вибрации может привести к заболеванию вибрационной болезнью, связанной с нарушением деятельности жизненно важных органов и систем человека: нервной, сердечно-сосудистой, опорно-двигательного аппарата. Вибрационная болезнь относится к группе профзаболеваний, эффективное лечение которых возможно только на ранней стадии. Признаками вибрационной болезни являются боли в мышцах, зуд,

тошнота, ощущение тряски внутренних органов, головные боли, бессонница. При частоте больше 16 –20 Гц вибрация сопровождается шумом. Вибрация и шум снижают производительность и качество труда работников, причем снижение производительности труда тем больше, чем сложнее трудовой процесс и чем больше в нем элементов умственного труда. Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации приведены в таблице 33.

Таблица 33 - Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	* Предельно допустимые значения по осям $X_L$ , $Y_L$ , $Z_L$			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с · 10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Для уменьшения шумов и вибрации применяют:

- установку приборов на массивные фундаменты;
- тщательную статическую и динамическую балансировку подвижных частей.

В нашем случае компьютер жестко стоит на столе, подвижные части находятся его в корпусе, следовательно, вне зоны непосредственного доступа, следовательно соответствует нормам.

#### 5.1.1.6 Нервно-психические перегрузки

Нервно-психические перегрузки могут включать в себя умственные перегрузки, монотонность труда, физические перегрузки. Умственное перенапряжение вызывается большим объемом информации, которую надо



анализировать. Физические перегрузки отражают преимущественную трудовую нагрузку на опорно-двигательный аппарат и другие системы организма. Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве - это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. Исключение случайно возникающих перебоев в работе, ритмизация трудовых процессов являются важными условиями поддержания высокого уровня работоспособности. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха. [27] Монотонность – однообразное повторение рабочих операций. Мероприятия по борьбе с монотонностью включают:

- рациональную организацию трудового процесса;
- повышение заинтересованности работника рабочим заданием;
- чередование трудовой деятельности;
- установление оптимальной продолжительности труда. [29]

Работа инженера-метролога предполагает легкую физическую нагрузку и не допускает возникновения физических перегрузок за счет отсутствия динамических нагрузок, перемещения грузов и т.д. Рабочая поза свободная, удобная, возможность смены рабочего положения тела (сидя, стоя). Риск умственных перегрузок в данной работе гораздо более велик. Во избежание нервно-психических перегрузок регулярно устраиваются 15 минутные перерывы через каждый час работы.

### **5.2.1 Анализ опасных факторов**

#### **5.2.2.1 Опасность поражения электрическим током**

Поскольку в данной работе используется электрооборудование, для производственного объекта характерным является возможность поражения электрическим током. Чтобы снизить риск необходимо соблюдать нормы

электробезопасности. Электробезопасность — это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что в отличие от прочих опасностей человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно, как, например, движущейся части, раскалённый объект, открытые люки, не ограждённые площадки на больших высотах. Опасность обнаруживается слишком поздно — когда человек уже поражён.

Электростатическая безопасность должна обеспечиваться за счет создания условий, предупреждающих возникновение разрядов статического электричества, способных стать источником зажигания объектов защиты. Предотвращение накопления зарядов статического электричества достигается заземлением оборудования и коммуникаций, причем каждую систему взаимосвязанных машин, оборудования и конструкций, выполненных из металла, заземляют не менее чем в двух местах.

Для предотвращения опасности короткого замыкания используется контактный коммутационный аппарат, используемый для заземления частей цепи, способный выдерживать в течение нормированного времени токи при ненормальных условиях, таких как короткое замыкание.

Помещение, где расположены персональные вычислительные машины, относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствуют следующие факторы [21]:

- сырость;
- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы;
- высокая температура;

– возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Персональный компьютер питается от сети 220В переменного тока с частотой 50Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести:

- при производстве монтажных работ необходимо использовать только исправный инструмент, аттестованный службой КИПиА.
- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены.
- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели должны быть запрещены.
- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал.
- необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки.

## **5.2 Экологическая безопасность**

Под охраной окружающей среды характеризуется различного рода мероприятиями, влияющие на следующие природные зоны:

- атмосфера;
- гидросфера;

- литосфера.

С развитием науки и техники окружающая среда подвергается различным антропогенным воздействиям: электромагнитные поля, выбросы углекислого и прочих газов и др. Многочисленные источники загрязнения наносят серьезный ущерб окружающей среде. Таким образом, охрана окружающей среды является важным фактором при проектировании и проведении исследования. При оценке характеристик стока выбросов вредных или опасных газов в атмосферу не происходит. Источников загрязнения в виде отходов тоже нет. При рассмотрении влияния ПК и стока на атмосферу и гидросферу можно сказать, что воздействия не оказываются. Помещение с персональным компьютером и устройством сбора данных относится к пятому классу, размер санитарно-защитной зоны которого равен 50 метров, так как работа на персональном компьютере не является экологически опасной.

В случае выхода из строя ПК или устройства сбора данных, они списываются и отправляются на специальный склад, который при необходимости принимает меры по утилизации списанной техники и комплектующих.

### **5.2.1 Загрязнение гидросферы**

Загрязнения гидросферы огромны и происходят довольно давно.

Основными источниками загрязнений являются промышленность и сельское хозяйство. Внутренние водоемы загрязняются сточными водами различных отраслей промышленности.

Сточная вода – это вода, бывшая в бытовом или производственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию.

В процессе работы инженера-метролога возможно образование хозяйственно – бытовых вод.

Бытовые сточные воды помещения образуются при эксплуатации туалетов, столовой, сливе химических растворов, растворов органических

соединений, а также при мытье рук, полов и т.п. Данные воды должны отправляться на городскую станцию очистки [24,25].

### **5.2.2 Отходы**

Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы.

В процессе работы инженера-метролога будут образовываться различные твердые отходы. К ним можно отнести: бумагу, батарейки, лампочки, использованные картриджи, отходы от продуктов питания и личной гигиены, отходы от канцелярских принадлежностей и т.д.

Защита почвенного покрова и недр от твердых отходов реализуется за счет сбора, сортирования и утилизации отходов и их организованного захоронения

## **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.3.1 Опасность возникновения пожара**

Наиболее характерной чрезвычайной ситуацией для данного производственного помещения является пожар.

Пожарная опасность персональных электронно-вычислительных машин, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток соединительных проводов и кабелей.

Согласно определению категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности (НПБ 105-03) производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

Помещение по пожарной и взрывной опасности относят к категории В.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы:

- сгораемые;
- трудносгораемые;
- несгораемые.

Здание, в котором находится помещение относится к несгораемым.

Для предотвращения пожара помещение с ПЭВМ должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения: углекислотным огнетушителем типа ОУ 2 или ОУ 5.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по техники безопасности [26].

В помещениях с ПЭВМ повышен риск возникновения пожара. Неисправность электрооборудования, освещения, неправильная их эксплуатация, наличие статического электричества неудовлетворительный надзор за пожарными устройствами и производственным оборудованием может послужить причиной пожара. Пожар на предприятии наносит большой материальный ущерб и часто сопровождается несчастными случаями с людьми.

Пожарная безопасность включает в себя комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращения пожара, ограничение его распространения, а также создание условия для успешного тушения пожара.

Для профилактики пожара должны обеспечиваться регулярные проверки пожарной сигнализации, первичных средств пожаротушения; проводиться инструктаж и тренировки по действиям в случае пожара; не загромождаться и не блокироваться эвакуационные выходы; выполняться требования правил технической эксплуатации и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок; во всех служебных помещениях должен быть установлен «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в

случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники [23].

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности и неисправные электроприборы и не использовать неисправные электроприборы.

Обогревание помещения открытыми электронагревательными приборами могут привести к пожару, т.к. в помещении находятся бумажные документы и справочная литература в виде книг, пособий, а бумага - легковоспламеняющийся предмет.

В целях профилактики пожара предлагается не использовать открытые обогревательные приборы в помещении лаборатории. В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

В целях предотвращения пожара также предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

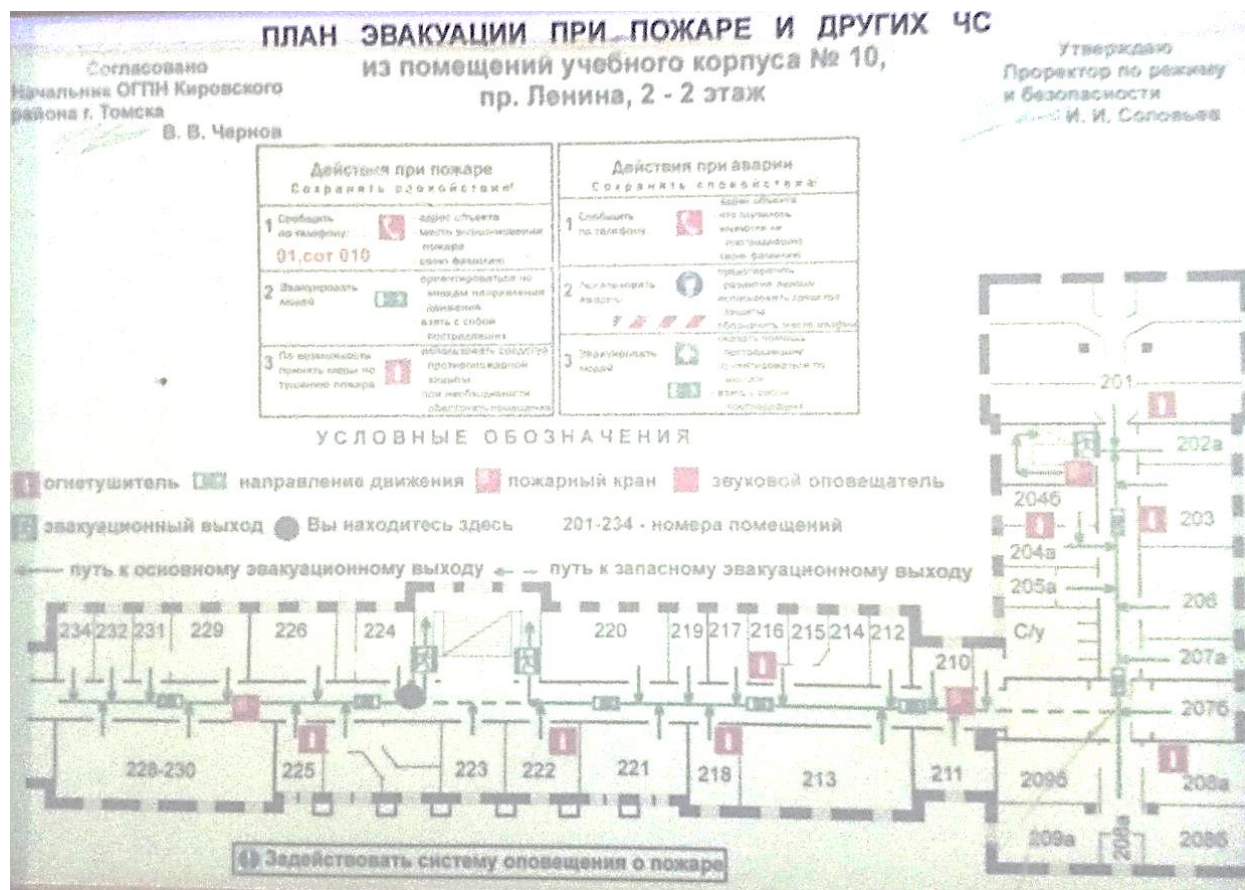
В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов. Здание корпуса 10, в котором располагается лаборатория, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании

установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а так же установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

На рисунке 12 представлен план эвакуации при возникновении пожара и других ЧС.



Условные обозначения:

- огнетушитель
- телефон
- кнопка ручного пожарного извещателя
- основной выход
- электрошокер
- основной путь эвакуации

Рисунок 46 – План эвакуации (второй этаж)

## 5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных



отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Возможно установление неполных рабочих дней для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет). Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

При работе в ночное время продолжительность рабочей смены на один час меньше. К работе в ночные смены не допускаются беременные женщины; работники, не достигшие возраста 18 лет; женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, инвалиды, работники, имеющие детей-инвалидов, а также работники, осуществляющие уход за больными членами их семей в соответствии с медицинским заключением, матери и отцы – одиночки детей до пяти лет.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться перерыв не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ТК РФ ст. 137. В

случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд [27].

### **5.5 Выводы по разделу**

Таким образом, был проведен комплекс мероприятий по минимизации негативного воздействия факторов, возникающих при работе с компьютером. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда сотрудников, которые занимаются проведением исследований с помощью программного цифрового осциллографа.

Так как разработка виртуального осциллографа проводилась на компьютере, то были проанализированы факторы на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, оценена степень воздействия их на человека, общество и природную среду, предложены методы минимизации их воздействий и защиты от них.

Разработка базируется на требованиях законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды, а также на владении способами и мероприятиями по защите в чрезвычайных ситуациях.

## Заключение

Подводя итог данной работе, можно сделать вывод, что поставленные задачи выполнены в полной мере:

- были исследованы принципы построения современных цифровых аппаратных и программных осциллографов, а также определены их функциональные возможности, проведена сравнительная характеристика функциональных возможностей, выявлены существенные недостатки современных программных приборов, в результате чего обоснована актуальность данной работы;

- изучены возможности программного пакета LabVIEW, в частности те, что были необходимы для создания устройств программных осциллографов;

- выполнена разработка и создание виртуального прибора - осциллографа.

Таким образом была достигнута цель исследования, состоящая в изучении принципов построения, лежащих в основе функционирования цифрового осциллографа, и их реализация в среде LabVIEW.

В результате проделанной работы разработан цифровой программный осциллограф, обладающий функциональными возможностями аппаратного прибора. Подробно рассмотрены составные части цифрового программного осциллографа. На основе полученных результатов могут создаваться более сложные приборы.

### **Список публикаций**

1. Сальникова Т. В. Применение методов прогнозирования в управлении предприятием / Т. В. Сальникова, А. И. Заревич // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 2. — [С. 86-87].

2. Сальникова Т. В. Контроль при изготовлении наружного кольца подшипника факторы, влияющие на качество / Т. В. Мискевич, Т. В. Сальникова, А. И. Заревич // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 04-07 декабря 2017 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 203-204].

## Список литературы

1. Цифровой запоминающий осциллограф. Устройство и принцип действия: учебно-методическое пособие / В.А. Тюрин. - Казань: Казанский федеральный университет, 2016. - 101 с.
2. В. П. Дьяконов Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера». М.: СОЛОН-Пресс, 2013. 320 с.: ил.
3. Матвиенко А.Б. Основные характеристики с осциллографов. Электронные компоненты, 2004.
4. Никитин В.А., Бойко С.В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: Учебное пособие - 2-е изд. перераб. и доп.- Оренбург ГОУ ОГУ, 2004. - 462 с.
5. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений, Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. -535 с.
6. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике М.: Постмаркет, 2002. - 352 с.
7. Уолт Кестер редактор. Проектирование систем цифровой смешанной обработки сигналов. 2010 год. 330 с.
8. Webster John G. (Ed.) Measurements, Instrumentation and Sensors, CRC Press, 1999. — 2584 p.
9. Дедюхин А. А Основные характеристики современных осциллографов: [Электронный ресурс] / А.А. Дедюхин – Режим доступа к ст. [http://www.prist.ru/info.php/articles/general\\_ch\\_modern\\_oscilloscopes.htm](http://www.prist.ru/info.php/articles/general_ch_modern_oscilloscopes.htm)
10. Московский энергетический институт, Институт Автоматики и вычислительной техники, В.Ю. Кончаловский, Цифровой осциллограф, Методическое руководство, Москва 2005 г
11. ГОСТ 22737-77. Осциллографы электронно-лучевые. Номенклатура параметров и общие технические требования.
12. ГОСТ 23158-78. Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы испытаний

13. ГОСТ 8.311-78. Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки.
14. Руководство пользователя. Цифровые запоминающие осциллографы серии TDS1000 и TDS2000 071-1074-0, - 57 с.
15. Цимбалист, Эдвард Ильич. Исследование аналоговых схем в программно-аппаратной среде NI ELVIS [Электронный ресурс] : учебное пособие / Э. И. Цимбалист, С. В. Силушкин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 7.5 MB). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
16. Суранов А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
17. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.
18. Трэвис Дж., Кринг Дж., LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и дополненное- М.: ДМК Пресс, 2011. - 904 с.
19. Лупов С.Ю., Муякшин С.И., Шарков В.В. Labview в примерах и задачах. Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Обучение технологиям National Instruments». Нижний Новгород, 2007, - 101 с.
20. Руководство по эксплуатации, Устройства сбора данных NI myDAQ, М.: – 2011, - 54 с.
21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003. – 36 с.
22. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. - 28 с.

23. СНиП 21 – 01 – 97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – 12 с.
24. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – М: ИПК Издательство стандартов, 1986 – 28 с.
25. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения. – М: ИПК Издательство стандартов, 1987 – 25 с.
26. ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003. - 92 с.
27. Трудовой кодекс РФ на 2012 год – перераб. и доп. – М.; Рид Групп, 2012. – 480 с.
28. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2003 – 34 с.

## Приложение А

(обязательное)

### Раздел 1

#### Principles of creation of digital oscilloscope

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Сальникова Татьяна Валерьевна		

Консультант школы отделения (НОЦ) ОАР ИШИТР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Заревич Антон Иванович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) ОИЯ ИШИТР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузнецова Ирина Николаевна			



## **1 Principles of creation of digital oscilloscope**

### **1.1 The place of oscilloscope in measuring technique**

Modern electronic oscilloscopes are widely applied. Now an oscilloscope is the main device of a scientist investigating new physical processes, an engineer and a technician, occupied with repair and adjustment of the most difficult electronic package and the radio fan, in practice mastering bases of an electronics engineering and radio engineering. [3]

The oscilloscope is one of the most important and irreplaceable tools for the electrical signals analysis. It is subjected to detailed consideration. Devices are intended for display of amplitude changes of the signal given on them in a temporary interval and allow to perform observation, measurements and also record of this signal. The oscilloscope serves as a good tool for testing.

The history of oscilloscopes dates back to 1893 when the French physicist André Blondel presented to the world his own hand constructed magnetoelectric oscilloscope with a bifilar suspension. This device allowed to record values of electrical quantities, such as intensity of alternating currents, on a moving recording tape by means of an ink pendulum connected to a coil. The first oscilloscopes were not very accurate and had very low bandwidth, in the range of 10-19 kHz. [4]

The oscilloscopes actually evolved with the advent of an electron-beam tube which was invented in 1897 by the German physicist Karl Brown. A.C.Cossor (the British company) was the first in the world to adapt this technology, presenting in 1932 the first oscilloscope on the CRT. [4]

In 1946 Howard Vollyum and Melvin Jack Murdoch founded the Tektronix company which soon became the world leader. In the same year Vollyum and Murdoch invented the first delaying-sweep oscilloscope. They used this technology in model 511, which had a bandwidth of 10 MHz. Slave sweep is a sweep, which works only during the course of the observed electric impulse. [4]

In the 1950s, almost all technically developed countries began to produce these devices so that oscilloscopes have become a universal tool for measurement. Their bandwidth and accuracy rapidly increased.

The development of analog oscilloscopes by the beginning of the XXI century was: an increase in the number of channels and bandwidths, skipping, increasing the accuracy of instruments.

In 1985 the digital oscilloscope appeared. It was one of key points in the oscilloscope development history. This year the first-ever digital memorable oscilloscope was developed for the research center CERN. Walter LeCroy, the founder of the LeCroy company controlled this device creation. Since the 1980s, the digital oscilloscopes market has progressed at an incredible rate so that these devices are still irreplaceable. [5]

Like any other piece of electronic equipment, oscilloscopes can also be divided by the way of processing of the input signal into analog and digital. Both types possess the pluses, minuses and unique characteristics. Therefore, we will examine them in more detail. Modern oscilloscopes differ significantly in functionality and principle of operation. They can be classified into analog and digital (memory, phosphor, stroboscopic) and also virtual and portable.

## **1.2 Analog oscilloscope**

The analog oscilloscope is an all-purpose instrument for a research of acyclic and periodic electric signals. This device is irreplaceable in an engineer's work and research practice to carry out possible measurements of electric signals. Oscilloscopes can be single-beam and dual-beam. The dual-beam oscilloscopes have an advantage in comparison with single-beam oscilloscopes in terms of functionality. They also allow to simplify some types of measurements. The single-beam oscilloscopes make it possible to see the image of a form of one electric signal on the screen by means of one developing electron beam, and two-beam allows to see the images of two studied electric signals in the form of two electron beams that do not depend on each other. [6]

Any analog oscilloscope has to be equipped with one or several vertical channels, a horizontal channel, a time base, a trigger system and a CRT module. Vertical channel includes an attenuator, a preamplifier, an analog delay line and a vertical amplifier. Horizontal channel can be used in two different operating modes: internal and external. Both modes work through the horizontal amplifier. [6]

Time base consists of triggers, an integrating amplifier and summation circuits for inverting.

It consists of:

- the electron beam tube (EBT) with two couples of plates of a vertical beams deviation and one couple of plates of a horizontal deviation;
- amplifiers of a vertical and horizontal beam deviation;
- an entrance attenuator (the frequency compensated tension divider) for Y1 and Y2 channels;
- power supply unit and high-voltage converter;
- synchronization block;
- calibrator.

Signals are given on entrances Y1, Y2. The sizes adjustment of images of signals happens with the help of attenuators. Amplifiers of a vertical deviation scale the signals to the required values. Impulses of synchronization give the chance to start the development block giving sawtooth tension. The voltage is applied to the deflecting plates.

The calibrator generates rectangular pulses that are used to calibrate the gain of the vertical and horizontal deviation amplifiers and to calibrate the sweep time.

Such devices may be used to display in real time the instantaneous signal changes, as the whole signal output process on the screen does not pass digital processing. Applied to the input signals are continuously displayed with a slight delay caused by the electronic components directly to the instrument circuits. [7]

Table A.1 - Advantages and disadvantages of analog oscilloscopes

Advantages of analog oscilloscope	Disadvantages of analog oscilloscope
<ul style="list-style-type: none"> <li>- familiar interface;</li> <li>- the instantaneous updating of the screen at display of the fast-changing signals in time;</li> <li>- low cost;</li> <li>- simple controlling means for regularly used settings (development coefficient, sensitivity coefficient, start level, signal shift etc).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- low accuracy;</li> <li>- a fibrillation and/or tarnish of the screen depending on the frequency of a signal and coefficient of development;</li> <li>- there is no possibility of display of a signal till the starting moment;</li> <li>- restricted transmission band;</li> <li>- high operational cost;</li> <li>- restricted gages of parameters of signals.</li> </ul>

Single copies of analog oscilloscopes can still be met in use. But such models are gradually forced out by digital ones.

### 1.3 Digital oscilloscopes

As a rule, digital oscilloscopes are divided into three main groups:

- Digital storage oscilloscopes (DSO), use a real time sampling technology;
- Digital stroboscopic oscilloscopes (DSaO), use sampling in equivalent time scale;
- Digital phosphor oscilloscopes (DPO), use the latest technological developments in signal sampling and processing.

Digital storage oscilloscopes appeared thanks to technological advancement of hybrid analog-to-digital converters (ADC). They display signal data in digital format. [8]

The principle of work of a stroboscopic oscilloscope is based on stroboscopic effect. The stroboscopic oscilloscope uses measurement of instant values of the repeating signals by means of short stroboscopic impulses. Owing to this principle, such oscilloscopes provide a wide bandwidth and have a high sensitivity. [8]

Digital phosphor oscilloscopes display the signal in three planes. Such oscilloscopes have a high sampling density. The display of such an oscilloscope makes it much easier to recognize the basic waveform from its transient characteristics. The picture of the main signal looks much brighter.

Table A.2 - Advantages and disadvantages of digital oscilloscope

Advantages of digital oscilloscope	disadvantages of digital oscilloscope:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- wide bandwidth;</li> <li>- the possibility of "freezing" the image at any time;</li> <li>- high measurement accuracy;</li> <li>- the possibility of detecting impulse noise;</li> <li>- bright, well focused screen at any sweep speed;</li> <li>- a possibility to display a signal before the triggering moment (in the "negative" time);</li> <li>- automatic means of measuring signal parameters;</li> <li>- possibilities of mathematical and statistical signal processing;</li> <li>- possibility of connection to a computer, a printer or a plotter;</li> <li>- means of self-diagnosis and self-calibration.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- higher cost;</li> <li>- more difficult to control.</li> </ul>

### 1.3.1 Digital storage oscilloscopes

Digital storage oscilloscopes (DSO) allow you to register and look through not only periodic events, but also single. Information on a signal exists in a digital format as a sequence of stored binary values. These values can be analyzed, archived, printed.

The signal can be displayed on the device screen even then when it has disappeared for a long time. Digital storage oscilloscopes provide permanent storage of captured information in memory, versatile processing of parameters and their analysis. Devices do not display the gradation of the brightness of the signal sweep in real time. DSO have architecture of serial processing of information from registration to the output of the investigated signals. The input signal goes to the ADC, which performs a sequential sampling of the values of the investigated signal. It converts the signal voltage into digital values. These values are called sampling elements, and the whole process is called the digitization of the signal. The sequence of sample units remains in random access memory of the device as an array of digital data. The oscilloscope trigger system determines the start and stop time of the recording process. The signal path of digital oscilloscopes includes a microprocessor. It processes the signal and controls the output of the data on the display. [9]

### **1.3.2 Digital phosphor oscilloscopes**

Oscilloscopes have parallel architecture of information processing. One processor operates only collection of information; another operates the video system. Oscilloscopes are capable to do millions of registrations within a second. The oscilloscope transfers to a raster format the digitized data on a signal form in the database of "a digital phosphor". Each second the image is transferred by the display system to the display. Each element corresponds to the pixel of the phosphor oscilloscope display. If the signal appears at a given point on the screen frequently, then the brightness of this point will be greater than that of neighboring points that appear less frequently. If you replace the brightness scale with a color scale, then the possibility of color allocation of anomalies of signals appears. [9]

### **1.3.3 Oscilloscopes of the mixed signals**

Digital channels define a digital signal as a sequence of high and low logical levels. The oscilloscope uses a threshold voltage. Such an oscilloscope is convenient for quick debugging of digital schemes. It offers a variety of start-up functions, high-resolution logging and analysis tools. The simultaneous analysis of analog and digital signals allows to establish the main reasons for problems. The oscilloscope becomes the device for checking and debugging of digital schemes. [9]

### **1.3.4 Digital stroboscopic oscilloscopes**

The stroboscopic oscilloscope works only with periodic signals Sequential gating of the instantaneous signal values for spectrum conversion is used in devices of this type. The signal value selection is taken only at one point. By the arrival of the following signal the point of selection is shifted by the signal to the interval  $\Delta t$  and is made at time  $T + \Delta t$ .

The converted signal is the envelope of the instantaneous values of the input signal. The duration of the converted signal is many times greater than the duration of the input signal under study. The bandwidth expands. The bandwidth of stroboscopic oscilloscopes can reach up to 100 GHz. [9]

### **1.3.5 Virtual oscilloscopes**

Virtual oscilloscopes represent a new class of oscilloscopes in modern measuring equipment. The appearance of one of such devices is shown in Figure 1.



Figure A.1 - The virtual oscilloscope

The software of any virtual oscilloscope makes it possible to control the device. Additional features of such an oscilloscope are data export / import, mathematical signal processing, advanced measurements, digital filtering, etc. They have very high performance characteristics and are an alternative to traditional DMO. [9]

### **1.3.6 Portable oscilloscopes**

Progress in the area of integrated technologies has allowed to create portable oscilloscopes with excellent dimensional indicators and with small energy

consumption (Figure 2). Portable devices powered by batteries are not inferior to stationary DMO for use and have great potential. [2]



Figure A.2 - The Portable oscilloscope

#### **1.4 Parameters of digital oscilloscopes**

According to the standards [11-13] the following key parameters are allocated to oscilloscopes:

- the values of the scanning coefficients, the error of the scanning factor or the associated error in measuring the time intervals,
- the values of the deviation coefficients, the error of the deviation coefficient or the associated error in measuring the voltage,
- Input parameters for vertical and horizontal channels including: active input resistance, input capacitance, standing wave ratio; permissible total value of DC and AC voltage,
- parameters of the transient characteristics, including: rise time: ejection, uneven vertex and settling time,
- the range of sweep times and the error in measuring time intervals,
- synchronization parameters, including the frequency range; limits of instability.